

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE



VLIV NADMOŘSKÉ VÝŠKY NA SEZÓNÍ RŮST STROMŮ V EKOTONU HORNÍ  
HRANICE LESA

EFFECT OF ALTITUDE ON INTRA-ANNUAL GROWTH OF TREES IN THE  
TREELINE ECOTONE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Jakub Kašpar*

2013

Vedoucí práce: *Mgr. Václav Tremel, PhD.*

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně  
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

Konstantinovy Lázně 24. dubna 2013

.....  
vlastnoruční podpis

## **Zadání diplomové práce**

**Téma práce: Vliv teplotních poměrů na radiální růst smrku (*Picea abies*) na horní hranici lesa**

### **Cíle práce**

1. Zjistit průběh a trvání hlavních fází tvorby dřeva smrku ve vegetačním období;
2. Určit teplotní rozmezí a teplotní limity (teploty vzduchu, půdy, teploty kmene), ve kterých probíhají jednotlivé fáze tvorby dřeva;
3. Zjistit rozdíly v intenzitě tvorby dřeva (počet buněk, šířka letokruhu) v závislosti na teplotách stanovišti, stáří a velikosti stromů;

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

*Studované území: Krkonoše, dvě plochy se založeným teplotním měřením teplot půdy, vzduchu, povrchu kmene; jedna plocha na horní hranici lesa, druhá na stejném svahu ve stromových skupinkách.*

*Metody: (1) odběr vzorků – v týdenních intervalech odběr mikrosond z deseti stromů na každé ploše, a to od dubna do září (ve spolupráci se školitelem); (2) nejpozději do 8 týdnů po odběru vzorky nařezat a připravit trvalé preparáty; (3) na každém řezu spočítat šířku vytvořeného letokruhu a počty následujících buněk: buňky v kambiální zóně, buňky ve fázi růstu, buňky ve fázi tloustnutí buněčné stěny, buňky ve fázi dospělosti; (4) na konci vegetačního období z každého stromu odebrat vývrty za účelem vytvoření růstové křivky a zjištění stáří; (5) zjištěný vývoj tvorby dřeva analyzovat v závislosti na průběhu teplotních charakteristik ve vegetačním období, na stáří a velikosti stromu.*

Datum zadání: 15.11. 2010

Jméno studenta: Jakub Kašpar

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: Václav Tremel

Podpis vedoucího práce: .....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Mgr. Václavu Tremlovi PhD. za četné rady a připomínky, které přispěly k úspěšnému vypracování této práce, dále děkuji Mgr. Tereze Ponocné a Bc. Janu Tumajerovi za občasnou pomoc a vytvoření příjemného pracovního prostředí v laboratoři dendrochronologie PřF UK v Praze, a neposlední řadě děkuji svým blízkým.

## ABSTRACT

This paper is focused on effect of temperatures on intra-annual growth of Norway spruce (*Picea Abies* (L.) Karsten) at alpine treeline ecotone in Giant Mountains during growing seasons 2011 and 2012. Monitoring was conducted on two localities on south-facing slope of Mt. Luční hora (Krkonoše Mountains). First locality was placed in altitude 1310 m, approximately at the upper limit of closed forest, the second one was situated in altitude 1450 m, in „tree groups“ located in upper parts of the treeline ecotone.

A relatively high vertical temperature gradient for air temperatures (1,2 – 1,7 °C per 100 m) as well as for soil temperatures in depth 10 cm (0,8 – 1,2 °C per 100 m) was observed between both locations. Lower temperatures in tree groups resulted in lower values of radial growth. Cambial activity started between 26. April and 21. May. The date of the beginning of cambial activity was influenced by amount of snowpack accumulated during previous winter, since the snow pack height affects soil temperatures near the ground air temperatures and date of completed snow melt. Length of the cambial activity varied from 55 to 77 days and was shorter on high elevation location. Cambial activity usually ended in the second half of July. Cell differentiation started immediately after the beginning of cambial activity and lasted from 111 to 132 days. Radial growth of spruce was finished usually by the end of September. Higher radial increment was observed on both locations in growing season 2012. This is in line with higher air and soil temperatures recorded during growing season 2012 in comparison to 2011.

The highest rates of xylem cells formations were observed during June and July. Based on this, we can presume highest influence of June-July temperatures of both air and soil temperatures, on radial growth of spruce in Krkonoše Mountains. We can deduct that in years when trees formed wider tree rings, the June-July temperatures were also higher than average.

**Key words:** Cambial activity; xylogenesis; radial growth, vertical temperature gradient; alpine treeline.

## RESUMÉ

Tato práce se zabývá vlivem teplotních poměrů na intra-anuální růst smrku ztepitého (*Picea Abies (L.) Karsten*) na alpínské hranici lesa v Krkonoších ve vegetačních sezónách 2011 a 2012. Monitoring probíhal na dvou lokalitách na jižním svahu Luční hory. První lokalita se nacházela v nadmořské výšce 1310 m n. m., přibližně na horní hranici zapojeného lesa, druhá pak v nadmořské výšce 1450 m n. m., ve stromových skupinkách nad horní hranicí lesa.

Mezi lokalitami byl pozorován poměrně vysoký vertikální teplotní gradient jak u teplot vzduchu (1,2 – 1,7 °C), tak u teplot půdy v hloubce 10 cm (0,8 – 1,2 °C). Teplotní rozdíl mezi lokalitami se pak projevil v nižším pozorovaném přírůstu na výše položené lokalitě. Pozorované počátky kambiální aktivity se pohybovaly od 26. 4. do 21. 5. Začátek kambiální aktivity je ovlivněn množstvím sněhové pokrývky akumulované na lokalitách v průběhu zimy a s tím souvisejícím datem jejího odtátí, teplotami půdy a teplotami v přízemní vrstvě atmosféry. Délka kambiální aktivity se pohybovala mezi 55 – 77 dny, přičemž její délka byla nižší na výše položené lokalitě. Diferenciace buněk nastala bezprostředně po počátku kambiální aktivity a trvala od 111 do 132 dní. V porovnání sledovaných růstových sezón vyšla lépe růstová sezóna 2012, ve které byl průměrný přírůst stromů vyšší na obou sledovaných lokalitách, což koinciduje s vyšší průměrnou teplotou vegetační sezóny 2012.

Nejvyšší nárůst počtu buněk xylému nastává v červnu a v červenci, proto lze očekávat největší vliv klimatických charakteristik, zejména teplot, na radiální růst smrku v těchto měsících. Lze tedy předpokládat, že v letech, kdy stromy v Krkonoších vytvořily nadprůměrně velké letokruhy, panovaly v těchto měsících příhodné klimatické podmínky.

**Klíčová slova:** Kambiální aktivita; xylogeneze, radiální růst; vertikální teplotní gradient; alpínská horní hranice lesa.

## OBSAH

1	ÚVOD .....	1
2	REŠERŠE .....	3
2.1	VZNIK EKOTONU ALPINSKÉ HRANICE LESA .....	3
2.2	VZTAH RŮSTU DŘEVIN KE KLIMATICKÝM PODMÍNKÁM .....	4
2.2.1	Vliv teplotních poměrů .....	4
2.2.2	Vliv vlhkosti půdy .....	5
2.2.3	působení větru .....	6
2.2.4	Mrazové vysychání .....	6
2.3	VZTAH FENOFÁZÍ A RADIÁLNÍHO RŮSTU .....	6
2.4	ANATOMIE A TVORBA DŘEVA .....	7
2.5	TVORBA DŘEVA (XYLOGENEZE) NA HORNÍ HRANICI LESA .....	10
3	FYZICKOGEOGRAFICKÉ CHARAKTERISTIKA .....	12
3.1	GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY .....	12
3.2	KLIMA .....	13
3.3	HYDROLOGICKÉ POMĚRY .....	16
3.4	PŮDY .....	17
3.5	VEGETACE .....	18
3.6	ANTROPOGENNÍ OVlivNĚNÍ KRKONOŠSKÉ PŘÍRODY .....	19
3.7	OCHRANA PŘÍRODY .....	20
3.8	VYMEZENÍ STUDOVANÝCH LOKALIT .....	20
4	METODIKA .....	22
4.1	MIKROKLIMATICKÁ MĚŘENÍ .....	22
4.1.1	Měřené charakteristiky .....	22
4.1.2	Měřicí zařízení .....	23
4.1.3	Zpracování dat .....	24
4.1.4	Analýza mikroklimatu .....	24
4.2	ANALÝZA XYLOGENEZE .....	25
4.2.1	Výběr jedinců a odběr vzorků .....	25
4.2.2	Příprava vzorků .....	25
4.2.3	Analýza vzorků .....	27
4.2.4	Statistické zpracování počtu buněk .....	28
4.2.5	Stanovení počátků jednotlivých fází .....	29
4.3	VZTAH RADIÁLNÍHO RŮSTU A MIKROKLIMATICKÝCH PARAMETRŮ .....	30
4.4	RETROSPEKTIVNÍ ANALÝZA .....	30
5	VÝSLEDKY .....	31
5.1	MIKROKLIMA .....	31
5.1.1	Teplotní poměry v roce 2011 .....	31
	Teploty vzduchu při vzrostném vrcholu .....	31
	Teploty vzduchu při kmeni .....	32
	Teploty půdy .....	33
5.1.2	Teplotní poměry v roce 2012 .....	35
	Teploty vzduchu při vzrostném vrcholu .....	35
	Teploty vzduchu při kmeni .....	36
	Teplotní poměry půdy .....	37
	Vlhkostní potenciál půdy .....	38
5.1.3	Srovnání teplot při vzrostných vrcholech, při kmeni a půdy ve vegetačních obdobích 2011 a 2012 .....	40

---

5.1.4	Teplotní gradient mezi lokalitami „AHL“ a „skupinky“ .....	41
5.2	XYLOGENEZE .....	43
5.2.1	Růstové období roku 2011 .....	43
	Kambiální aktivita .....	43
	Tvorba xylému .....	45
5.2.2	Růstové období roku 2012 .....	49
	Kambiální aktivita .....	49
	Tvorba xylému .....	51
5.3	VLIV TEPLOTNÍCH PODMÍNEK NA TVORBU DŘEVA .....	55
6	DISKUSE .....	59
6.1	TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKA LOKALIT .....	59
6.2	KAMBIÁLNÍ AKTIVITA .....	62
6.3	RADIÁLNÍ RŮST .....	67
7	ZÁVĚR .....	71
8	CITOVANÁ LITERATURA .....	73



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Definice stromu na základě jejich velikosti dle vybraných autorů (upraveno podle Holtmeier 2009).....	4
Tabulka 2: Charakteristiky vybraných klimatických oblastí (upraveno podle Hrnčiarová et al. 2009).....	13
Tabulka 3: Charakteristiky vybraných topoklimatických oblastí (Hrnčiarová et al. 2009)	15
Tabulka 4: Vzestupná alkoholová řada (upraveno podle Rossi et al. 2006a) .....	26
Tabulka 5: Vzestupná alkoholová řada. ....	26
Tabulka 6: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	31
Tabulka 7: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období roku 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C. ....	31
Tabulka 8: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	32
Tabulka 9: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	33
Tabulka 10: Teploty půdy na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C. ....	34
Tabulka 11: Teploty půdy na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	34
Tabulka 12: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	35
Tabulka 13: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C. ....	35
Tabulka 14: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	36
Tabulka 15: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	37
Tabulka 16: Teploty půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.....	38
Tabulka 17: Teploty půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitě "skupinky" v části vegetačního období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C. ....	38
Tabulka 18: Vlhkostní potenciál půdy na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012.....	39
Tabulka 19: Vlhkostní potenciál půdy na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012. ....	39
Tabulka 20: Průměrné teploty vybraných veličin ve vegetačním období roku let 2011 a 2012 na lokalitách "AHL" a "skupinky". Hodnoty jsou uvedeny ve °C. ....	41
Tabulka 21: Vymezení počátku, konce a vrcholu kambiální aktivity, fáze zvětšování, fáze druhotného tloustnutí a datum prvního záznamu dospělých buněk v roce 2011.....	44
Tabulka 22: Korelační koeficienty mezi daty počátku kambiální aktivity, vrcholu kambiální aktivity, konce vrcholu kambiální aktivity, konce kambiální aktivity a věkem jedinců na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2011, tučně jsou vyznačeny statisticky významné vztahy. ....	45
Tabulka 23: parametry pro výpočet Gompertzovy funkce pro všechny sledované jedince na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2011. ....	48

Tabulka 24: Vymezení počátku, konce a vrcholu kambiální aktivity, fáze zvětšování, fáze druhotného tloustnutí a datum prvního záznamu dospělých buněk v roce 2012.....	50
Tabulka 25: Korelační koeficienty mezi charakteristikami kambiální aktivity a výškou a věkem jedinců na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2012, tučně jsou vyznačeny statisticky významné vztahy.....	51
Tabulka 26: parametry pro výpočet Gompertzovy funkce pro všechny sledované jedince na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2012.....	54
Tabulka 27: Rozptyly průměrných hodnot teplot panujících v době před odběrem vzorků, v nichž byl pozorován počátek kambiální aktivity, první zvětšující se buňky, první druhotně tloustnoucí buňky a první dospělé buňky. „Rozptyl teplot před odběrem“ je rozptyl teplot ve čtyřech dnech předcházejících odběru, „Rozptyl hodnot průměrných teplot v době mezi dvěma odběry“ je rozptyl teplot mezi dvěma provedenými odběry.....	56
Tabulka 28: Kambiální aktivita smrku ztepilého pozorována různými autory. ....	63

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma vymezení ekotonu horní hranice lesa dle Körner et Paulsen (2004).....	3
Obrázek 2: Anatomická stavba jehličnanu: TT- příčný řez, RR – radiální řez, TG- tangenciální řez, TR – tracheida, ML – buněčná přepážka, SP – tečky v křížovém poli, BP- tečky ve stěnách tracheid, HRD – horizontální pryskyřičné kanálky, VRD – vertikální pryskyřičné kanálky, AR – letokruh (převzato z Pallardy et Stephen 2008) .....	8
Obrázek 3: Rozdíl mezi buňkami jarního (JD) a letního (LD) dřeva. ....	9
Obrázek 4: Geologická mapa Krkonoš (základní geologická mapa 1:500 000, dostupná z <a href="http://geoportal.cenia.cz">geoportal.cenia.cz</a> ). ....	13
Obrázek 5: Klimadiagram meteorologické stanice Sněžka pro roky 1961 – 1991 (upraveno podle Metelka et al. 2007) .....	14
Obrázek 6: Směrová růžice převládajících směrů větru na klimatické stanici Sněžka pro roky 1961 – 1991 (upraveno podle Metelka et al. 2007).....	15
Obrázek 7: Půdní mapa Krkonoš (Klasifikace půdních typů podle TKSP dostupná z <a href="http://geoportal.cenia.cz">geoportal.cenia.cz</a> ) .....	18
Obrázek 8: Poloha zájmového území. ....	21
Obrázek 9: Schéma měření teplot a sacího potenciálu půdy na lokalitě "skupinky" (kresba Veronika Langmajerová). ....	22
Obrázek 10: Použitá záznamová zařízení – (I) Microlog T3; (II) Microlog SP3, (III) Mikin T, (IV) Mikin RT (zdroj: EMS Brno). ....	23
Obrázek 11: Modelová ukázka rozlišení jednotlivých typů buněk, kde (CZ) jsou buňky kambiální zóny, (EN) jsou zvětšující se buňky, (WT) jsou lignifikující buňky a (MC) jsou buňky dospělé. ....	28
Obrázek 12: Denní chod teplot vzduchu při vzrostných vrcholech smrku na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2011 .....	32
Obrázek 13: Denní chod teplot při kmeni ve výšce dva metry nad povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2011 .....	33
Obrázek 14: Denní chod průměrných teplot půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období 2011. ....	34
Obrázek 15: Denní chod teplot při vzrostných vrcholech jedinců na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2012. ....	36
Obrázek 16: Denní chod teplot při kmeni ve výšce dva metry nad povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2012. ....	37
Obrázek 17: Denní chod průměrných teplot půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období 2012. ....	38
Obrázek 18: Denní chod dostupné půdní vlhkosti na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v části vegetačního období roku 2012. ....	39
Obrázek 19: Teplotní gradient mezi lokalitami "AHL" a "skupinky" v průběhu vegetačních období roku 2011 a 2012. ....	42
Obrázek 20: Chod teplotních gradientů půdy, vzduchu při kmeni a vzduchu v korunách stromů ve vegetačním období roku 2011. ....	42
Obrázek 21: Chod teplotních gradientů půdy, vzduchu při kmeni a vzduchu v korunách stromů ve vegetačním období roku 2012. ....	43
Obrázek 22: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období roku 2011. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.....	43

Obrázek 23: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období roku 2011. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.....	44
Obrázek 24: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu kladné, resp. záporné, směrodatné odchylky.....	46
Obrázek 25: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu kladné, resp. záporné, směrodatné odchylky. ....	47
Obrázek 26: Rozdíl v týdenním přírůstu buněk, zhmlazený třídoběrovým klouzavým průměrem, mezi lokalitami „AHL“ a „skupinky“ ve vegetačním období roku 2011. ....	48
Obrázek 27: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „AHL“ růstovém období roku 2011.....	49
Obrázek 28: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „skupinky“ růstovém období roku 2011. ...	49
Obrázek 29: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období roku 2012. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.....	50
Obrázek 30: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období roku 2012. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.....	50
Obrázek 31: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012. Chybové úsečky značí hodnotu směrodatné odchylky.....	52
Obrázek 32: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu směrodatné odchylky. ....	53
Obrázek 33: Rozdíl v týdenním přírůstu buněk, zhmlazený třítermínovým klouzavým průměrem, mezi lokalitami „AHL“ a „skupinky“ ve vegetačním období roku 2012. ....	54
Obrázek 34: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „AHL“ růstovém období roku 2012.....	55
Obrázek 35: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „skupinky“ růstovém období roku 2012. ...	55
Obrázek 36: Teplotní poměry zaznamenané v několika dnech předcházejících dni, kdy byly pozorovány počátky konkrétních fází (1) počátek kambiální aktivity; (2) výskyt prvních zvětšujících se buněk, (3) výskyt prvních druhotně tloustnoucích buněk; (4) výskyt prvních dospělých buněk. Chybové úsečky reprezentují minimální, resp. maximální, zaznamenané teploty.....	57
Obrázek 37: Teplotní poměry zaznamenané v intervalech mezi dvěma odběry předcházejících odběru, kdy byly pozorovány počátky konkrétních fází (1) počátek kambiální aktivity; (2) výskyt prvních zvětšujících se buněk, (3) výskyt prvních druhotně tloustnoucích buněk; (4) výskyt prvních dospělých buněk. Chybové úsečky reprezentují minimální, resp. maximální, zaznamenané teploty. ....	58

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „AHL“ v průběhu vegetačního období 2011, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.....	I
Příloha 2: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „skupinky“ v průběhu vegetačního období 2011, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.....	II
Příloha 3: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „AHL“ v průběhu vegetačního období 2012, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.....	III
Příloha 4: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „skupinky“ v průběhu vegetačního období 2012, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.....	IV
Příloha 5: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011. ....	V
Příloha 6: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011. ....	V
Příloha 7: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011.....	V
Příloha 8: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011.....	VI
Příloha 9: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	VI
Příloha 10: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	VI
Příloha 11: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	VII
Příloha 12: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců.....	VII
Příloha 13: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012. ....	VII
Příloha 14: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2012....	VIII
Příloha 15: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012. ....	VIII
Příloha 16: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2012. ....	VIII
Příloha 17: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	IX

Příloha 18: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	IX
Příloha 19: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	IX
Příloha 20: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců. ....	X
Příloha 21: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "AHL" v sezóně 2011. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20. ....	XI
Příloha 22: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "skupinky" v sezóně 2011. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20. ....	XII
Příloha 23: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "AHL" v sezóně 2012. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20. ..	XIII
Příloha 24: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "skupinky" v sezóně 2012. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20. ....	XIV
Příloha 25: Průměrné teploty v pěti předcházejících dnech, kdy byly v sezóně 2011 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období. ....	XV
Příloha 26: Průměrné teploty v pěti předcházejících dnech, kdy byly v sezóně 2012 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období. ....	XVI
Příloha 27: Průměrné teploty v intervalech mezi jednotlivými odběry, kdy byly v sezóně 2011 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období. ....	XVII
Příloha 28: Průměrné teploty v intervalech mezi jednotlivými odběry, kdy byly v sezóně 2012 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období. ....	XVIII
Příloha 29: Průměrné teploty vzduchu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2011 (zdroj: ČHMÚ). ....	XIX
Příloha 30: Průměrné teploty vzduchu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2012 (zdroj: ČHMÚ). ....	XIX

Příloha 31: Doba slunečního svitu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2011 (zdroj: ČHMÚ). .....	XX
Příloha 32: Doba slunečního svitu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2012 (zdroj: ČHMÚ). .....	XX

## 1 ÚVOD

Alpínská horní hranice lesa je důležitou přechodovou zónou mezi zapojeným lesem a alpínským bezlesím, přitahujícím výzkumníky po desítky let (Holtmeier 2009). Současná poloha horní hranice lesa je výsledkem několik staletí trvajícího působení různých, zejména klimatických faktorů (Körner 2003). Její vznik je způsoben neschopností dřevin růst v chladných podmínkách (Körner 2012).

S rostoucí nadmořskou výškou lze tedy předpokládat zvýšení teplotního stresu, a tedy vyšší limitaci růstu, způsobenou výskytem nižších teplot (Holtmeier 2009), což by v konečném důsledku mělo vést ke snížení ročního radiálního přírůstu. Díky současným změnám klimatu, včetně nárůstu teplot, se například ve Švýcarských Alpách předpokládá dřívější počátek vegetační sezóny o 5 až 33 dní v roce 2050 oproti roku 1990 (OcCC 2007 in Moset et al. 2009).

Reakce stromů na klimatické změny je možné sledovat například porovnáním počátků fenologických fází, jako jsou pučení, výskyt prvních jehlic či počátek kvetení (Hájková et al. 2012). Dalším možným přírůstkem je retrospektivní analýza letokruhových křivek (Paulsen et al 2000). Oba přístupy vedou k porovnání hodnot nástupů jednotlivých fází, popřípadě k porovnání konkrétních letokruhů. Alternativní možností k těmto přístupům je analýza průběhu xylogeneze, což je proces tvorby dřevní hmoty stromů na buněčné úrovni. Díky tomuto přístupu je možné stanovit nejen data počátku růstového období konkrétního druhu, včetně nástupů jednotlivých fází dělení buněk, ale také průběh růstu stromu a identifikovat tak i období, kdy dochází k nejvyššímu přírůstu dřevní hmoty. Na základě analýzy xylogeneze, je tedy možné porovnávat to, jak růst dřevin během vegetačního období ovlivňován celou řadou proměnných.

Diplomová práce se zabývá studiem xylogeneze v závislosti na vybraných mikroklimatických charakteristikách na horní hranici lesa v Krkonoších. Klíčovými jsou v řešené výzkumné otázce rozdíly v mikroklimatických charakteristikách v ekotonu horní hranice lesa a rozdíly v průběhu diferenciaci jednotlivých typů buněk. Rozdíly v diferenciaci buněk jsou sledovány z hlediska časového, tj. identifikace období, kdy dochází k počátkům jednotlivých fází vývoje či k nejvyšším přírůstům xylému, i z hlediska teplotního, jinými slovy jaké teploty mají nejvyšší vliv na růst stromů. Vše bylo studováno na dvou lokalitách, umístěných na výškovém transektu přes hranici lesa na jižním svahu Luční hory.



Výsledné informace mohou pomoci lépe poznat životní cyklus stromů na horní hranici lesa v Krkonoších a faktory, které jej ovlivňují. Dále pomůže identifikovat kritické periody a teplotní poměry pro růst stromů, což může přinést cenné informace pro dendroklimatologickou rekonstrukci. Dřevinou, na které byl výzkum realizován, je smrk ztepilý (*Picea Abies (L.) Karsten*).

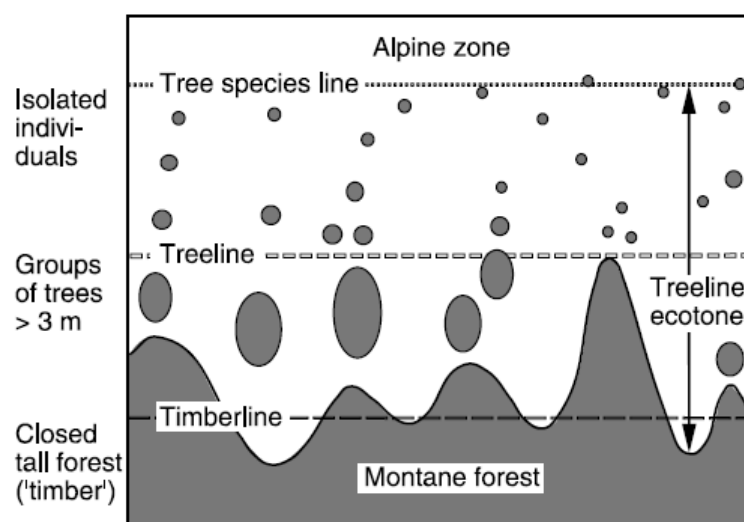
Cílem práce je zjištění a porovnání průběhu tvorby dřeva smrku ztepilého na dvou lokalitách v ekotonu horní hranice lesa, lišících se nadmořskou výškou. Dílčími cíli je pak:

- Zjistit rozdíly v mikroklimatických charakteristikách dvou stanovišť, ležících v ekotonu horní hranice lesa a lišících se nadmořskou výškou;
- Zjistit průběh a trvání hlavních fází tvorby dřeva smrku ve vegetačním období;
- Určit teplotní rozmezí a teplotní limity (teploty vzduchu, půdy, teploty kmene), ve kterých probíhají jednotlivé fáze tvorby dřeva;
- Zjistit rozdíly v intenzitě tvorby dřeva (počet buněk, šířka letokruhu) v závislosti na teplotních poměrech stanovišť, stáří a velikosti stromů.

## 2 REŠERŠE

### 2.1 VZNIK EKOTONU ALPÍNSKÉ HRANICE LESA

Pod pojmem ekoton alpské hranice lesa se rozumí přechodová zóna mezi horní hranicí zapojeného lesa a horní hranicí výskytu stromových druhů jakéhokoliv vzrůstu (Körner et Paulsen 2004, Holtmeier et Broll 2005), nad kterou nedochází k růstu stromů patrně díky jejich neschopnosti zabudovávat asimiláty do pletiv z důvodu nízkých teplot (Körner et Paulsen 2004). Körner et Paulsen (2004) v souvislosti s alpskou hranicí lesa zavádí pojmy „timberline“ pro nejvýše položenou hranici zapojeného lesa, „tree species line“ pro linii spojující nejvýše rostoucí jedince stromových druhů a „treeline“ pro linii reprezentující výskyt nejvýše položených plošek lesa (Obrázek 1).



Obrázek 1: Schéma vymezení ekotonu horní hranice lesa dle Körner et Paulsen (2004).

Na základě charakteru ekotonu horní hranice lesa je možné dle Holtmeier (2009 in Harsch et Bader 2011) rozlišovat několik typů ekotonů, jimiž jsou difuzní, kdy postupně klesá výška stromů, zmenšuje se šířka kmene a dochází k postupnému rozvolňování zápoje, náhlý, charakteristický ostrou hranicí mezi zapojeným lesem a alpskou zónou, ostrůvkovitý, kdy je možné zaznamenat výskyt zpravidla klonálně se šířících ostrůvkovitých skupinek jedinců nad hranicí zapojeného lesa, a přechod v podobě klečových růstových forem, charakteristický postupným přechodem stromových do klečových růstových forem dřevin.

Problémem při vymezení horní hranice lesa může být též definice stromu, přičemž pohledů na to, jakého jedince lze považovat za strom, existuje několik (viz tabulka 1). Jako nejvhodnější se jeví definice Paulsen et al. (2000), jež uvádí, že za strom lze považovat

vzrostlého jedince se vzpřímeným kmenem o výšce minimálně tři metry. Výška tři metry je zvolena záměrně, aby se vzrostlý vrchol nenacházel v přízemní vrstvě vzduchu a zároveň přesahoval výšku sněhové pokrývky v zimě.

*Tabulka 1: Definice stromu na základě jejich velikosti dle vybraných autorů (upraveno podle Holtmeier 2009)*

Autor	Výška dřeviny [m]
Plesník (1959)	8
Jeník et Lokvenc (1962)	5
Holtmeier (1965)	>průměrná výška sněhové pokrývky
Kullman (1979)	2
Paulsen et al. (2000)	3

Hlavním limitujícím faktorem polohy horní hranice lesa v globálním měřítku jsou teploty vzduchu a půdy (Körner et Paulsen 2004). To platí zejména o difúzní hranici, u ostatních typů mohou hrát velkou roli další klimatické faktory jako například působení větru a výskyt sněhu, a vlastnosti druhů stromů tvořících hranici lesa (Harsch et Bader 2011). Ve většině případů na lokální úrovni dochází k modifikaci pozice alpské hranice lesa v závislosti na lokálních mikroklimatických a geomorfologických podmínkách (Holtmeier et Broll 2005).

Současná poloha horní hranice lesa je výsledkem několik staletí trvajících působení různých podmínek včetně činnosti člověka (Körner 2003). Změna její polohy je procesem trvajícím řádově desetiletí (Harsch et al. 2009).

## 2.2 VZTAH RŮSTU DŘEVIN KE KLIMATICKÝM PODMÍNKÁM

### 2.2.1 VLIV TEPLOTNÍCH POMĚRŮ

Za hlavní faktor, určující pozici horní hranice lesa v globálním měřítku, jsou považovány teplotní poměry (Körner et Paulsen 2004), což je možné potvrdit i na základě pozorované skutečnosti, že s klesajícími teplotami se snižuje výška i průměr kmene stromů, přičemž nižší teploty mají větší vliv na radiální přírůst nežli na přírůst výškový (Körner 2012).

Průměrné roční teploty měřené Körnerem (2012) na horních hranicích lesa napříč všemi klimatickými pásy vykazují velice podobné hodnoty, a to  $6,4 \pm 0,7$  °C, přičemž je v průběhu vegetační sezóny nutné souvislé období trvající minimálně 94 dní, s průměrnými denními teplotami vyššími než 0,9 °C. Körner et Paulsen (2004) vymezují

vegetační období na horní hranici lesa na základě výskytu průměrných denních teplot půdy, měřených v hloubce 10 cm, vyšších než 3,2 °C. Dle Rossiho et al. (2007) začíná dělení buněk vaskulárního kambia u stromů na horní hranici lesa, jsou-li teploty vzduchu vyšší než 5 °C, teploty půdy v rozmezí 3 – 5 °C a teploty kmene minimálně 4 °C. Výskyt vyšších průměrných teplot v průběhu vegetačního období dle Körnera (2012) není příčinou prodlužování vegetační sezóny.

Výše uvedené hodnoty teplot jsou patrně prahovými hodnotami fyziologického omezení stromů, spočívající v jejich neschopnosti budovat nová pletiva, resp. zabudovávat asimiláty do pletiv, při teplotách blízkých 0 °C (Körner 2012). Minimální teplota, při které dochází k zabudování asimilátů do pletiv, leží pravděpodobně v intervalu 7 – 9 °C a do značné míry se podobá prahové hodnotě, při které je možné pozorovat počátek fenologické fáze pučení jehlic (Rossi et al. 2008). Při podmínkách, kdy jsou průměrné hodnoty teploty vzduchu 5 °C, dochází rovněž k omezení fotosyntézy, ta probíhá pouze s 60-70% intenzitou, a k zastavení růstu kořenů (Körner 2012), jejichž růst je úzce spjat s teplotou jejich prostředí (Körner et Paulsen 2004).

Teplotní poměry mohou mít značný vliv i na vitalitu stromů a být přímo spojeny s jejich mortalitou, například Tranquillini (1979) uvádí, že zimní teploty nižší než -36 °C nebo letní teploty vyšší než 46 °C mohou způsobit uhynutí jedince v důsledku umrznutí, resp. přehřátí a to na příkladu smrku.

Výskyt nízkých teplot v průběhu zimy patrně nemá přímý vliv na mortalitu stromů na horní hranici lesa (Kullman et Öberg 2009), nicméně promrznutí půdy může vést k mrazovému vysychání či ke ztrátě jehlic, čímž může v konečné fázi dojít k odumření jedinců (Han et al. 2012).

### **2.2.2 VLIV VLHKOSTI PŮDY**

Vodní bilance je ve stromech dána rozdílem příjmu a ztráty vody, primárně tedy závisí na její dostupnosti v půdním profilu a mírou evapotranspirace (Tranquillini 1979). Nedostatek vody může působit jako stresový faktor, na který stromy reagují redukcí relativně „nepodstatných“ procesů, jako je například radiální růst (Gryc et al. 2012) nebo zmenšením radiálního rozměru vytvořených buněk (Gričar et Čufar 2008).

S rostoucí nadmořskou výškou rostou srážkové úhrny a zároveň klesá míra evapotranspirace (Körner 2003), proto jsou polohy horních hranic lesa v mírných šířkách srážkami, v průběhu celého roku, poměrně dobře dotované, a proto je dostupnost vody

v půdním profilu limitujícím faktorem růstu stromů na horní hranici lesa zejména v subtropických a aridních oblastech (Körner 2012). V případě smrku ztepilého jsou množstvím dostupné vláhy limitovány stromy, rostoucí v nížinných polohách, zatímco růst stromů rostoucích v horských oblastech vykazuje závislost spíše k teplotním podmínkám (Levančič et al. 2009).

Množství srážek v globálním měřítku negativně koreluje s výškou alpínské hranice lesa (Körner 2012). Tedy horní hranici lesa je možné najít níže v oblastech s vyššími srážkami než v oblastech s nižšími srážkami, což je dáno zprostředkovaně zejména množstvím srážek vypadávajících ve formě sněhu (Körner 2012).

### **2.2.3 PŮSOBENÍ VĚTRU**

Lokálně může mít působení větru na pozici horní hranice lesa vyšší význam než teplotní poměry, zejména vlivem redistribuce sněhu nebo jako ochlazující faktor nebo činitel způsobující obrus jehlic a větví (Körner 2003). Ve výsledku to znamená, že působením silného větru podmíněné horní hranicí lesa nedosahují očekávaných výšek, uvažovaných na základě výskytu vhodných teplot (Holtmeier et Broll 2005) nebo že je možné najít ostrůvkovité plošky lesa ležící v místech chráněných před větrem vysoko nad hranicí lesa (Kullman 2005). Tento jev popsal v Alpách například Gruber et al. (2008).

Vítr působí na hranici lesa přímo dvěma způsoby: (i) poškozováním jedinců, v zimních měsících například abraží částí stromů vyčnívajících nad sněhovou pokrývkou, což může vést ke zpoždění počátku vegetační sezóny (Gruber et al. 2008); nebo (ii) může zapříčinit fyzické poškození jedinců, například odlomení vzrostných vrcholů apod. (Holtmeier 2009).

### **2.2.4 MRÁZOVÉ VYSYCHÁNÍ**

Výskyt mrazového vysychání není příliš častý (Körner 2003). Je způsobeno ztrátou vody v nedospělých jehlicích v průběhu zimy (Tranquillini 1979), nejčastěji k němu dochází v polohách na alpínské hranici lesa od ledna do dubna (Han et al. 2012). Výskyt mrazového vysychání je úzce spjat s průběhem předchozí vegetační sezóny a mírou dospělosti jehlic vytvořených v předchozí vegetační sezóně (Tranquillini 1979).

## **2.3 VZTAH FENOFÁZÍ A RADIÁLNÍHO RŮSTU**

Fenologie se zabývá studiem časování životních cyklů organismů, které je úzce spjata s ročním chodem klimatických podmínek (Hájková et al. 2012). Ze všech

klimatických poměrů má na životní cyklus organismů patrně největší vliv délka světlé části dne a roční chod teplot. Ten, je přímo ovlivněn odtáváním sněhové pokrývky (Pallerin et al. 2012). Na druhou stranu může sněhová pokrývky bránit poškozování přízemních částí stromů před teplotními výkyvy vyskytujícími se na začátku jara (Pallerin et al. 2012).

V případě rostlin je možné rozlišit dvě skupiny fenologických procesů, a to vegetativní a generativní (Hájková et al. 2012). Mezi vegetativní procesy patří, v případě smrku ztepilého, pučení jehlic a ukončení růstu prvních jehlic. Generativní procesy jsou spojené s počátkem a koncem kvetení smrku (Hájková et al. 2012). Průběhy fenologických fází je možné sledovat i na anatomické úrovni, kdy je možné rozlišovat dobu nástupu, konce a trvání jednotlivých vývojových fází buněk v průběhu xylogeneze (Rathberger et al. 2011).

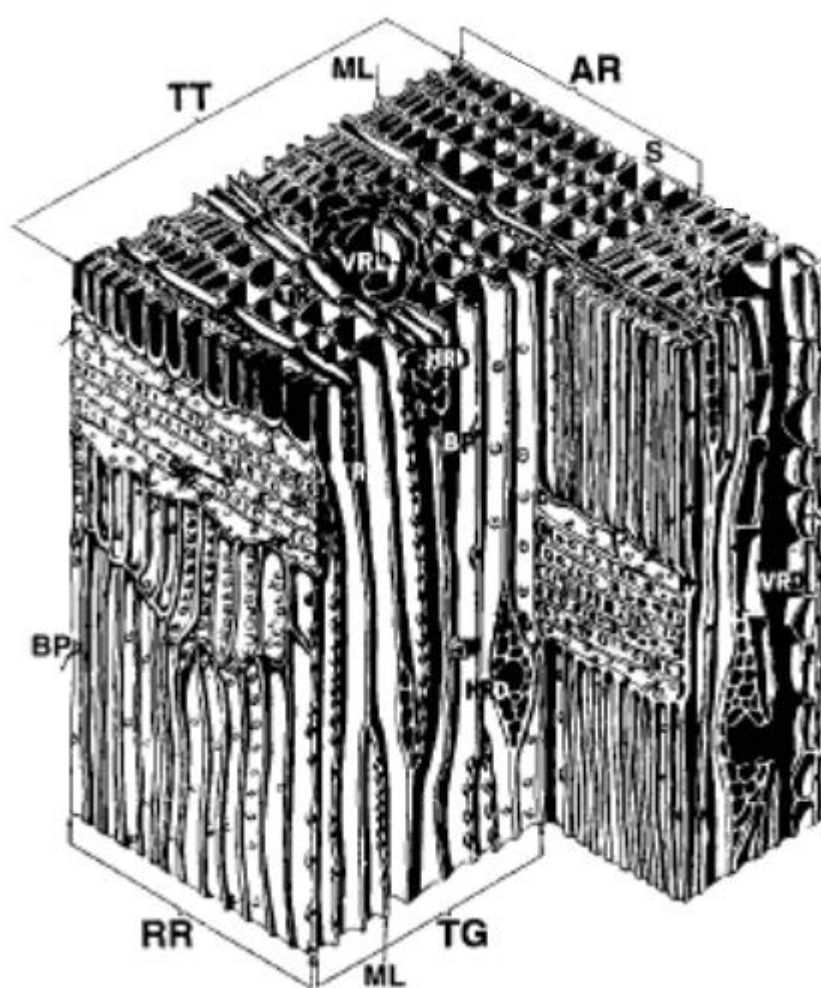
Fáze pučení smrku ztepilého začíná obvykle v nejvyšších partiích Vysokých Sudet po 13. květnu, kdy se průměrné denní teploty pohybují v rozmezí 9 – 12 °C. První „zralé“ jehlice lze obvykle zaznamenat po 28. květnu při průměrných denních teplotách 12,3 – 13,7 °C, počátek kvetení lze zaznamenat obvykle po 14. květnu při teplotách 11,9 – 13,2 °C a jeho konec pak 31. května, kdy se průměrné denní teploty pohybují obvykle mezi 13,5 – 15,4 °C. Průměrná doba kvetení se pohybuje mezi 15 - 17 dny (Hájková et al. 2012).

## 2.4 ANATOMIE A TVORBA DŘEVA

Dřeviny je možné rozdělit, stejně jako rostliny, na nahosemenné a krytosemenné, což je možné zobecnit na jehličnaté a listnaté druhy (Pallardy et Stephen 2008), přičemž nahosemenné, mezi něž se řadí i smrk ztepilý, jsou charakteristické jednodušší anatomickou stavbou, neboť jsou reprezentanty nižší vývojové fáze (Speer 2010). Hlavním rozdílem v anatomické stavbě obou skupin je způsob, jakým jsou vodou a živinami zásobovány vzrostné vrcholy. Zatímco u nahosemenných dochází k transportu vody tracheidami, neboli cévicemi, což jsou v podstatě buňky s neukončeným vývojem spojující střed stromu s lýkem, tak k rozvodu vody u krytosemenných rostlin je rozvod vody důmyslnější a dochází k němu pomocí specializovaných buněk, které se nazývají tracheje, popř. cévy (Speer 2010).

Růst stromů, jak bylo zmíněno výše, probíhá v axiálním a radiálním směru. Zatímco růst v axiálním směru, tzv. dlouhivý růst, je způsobený aktivitou apikálních meristémů nacházejících se ve vzrostných vrcholech (Speer 2010), tak v radiálním směru

je růst stromů způsobený dělením buněk ve vaskulárním kambiu, často se používá pouze pojem kambium či kambiální zóna (Speer 2010). Kambiální zóna mimo vegetační období obvykle čítá mezi 1 až 10 buňkami, v průběhu vegetačního období však může čítat až 40 buněk (Pallardy et Stephen 2008). Délka, počátek a konec kambiální aktivity je ovlivňován klimatickými podmínkami a délkou dne, například Rossi et al. (2007) pozoroval délku kambiální aktivity na horní hranici lesa, v závislosti na nadmořské výšce, o délce 6-11 týdnů. V průběhu dělení buněk dochází k tvorbě xylému, k jehož tvorbě dochází ve směru do kmene a je tak tvořena dřevní část kmene stromu, a floému, k jehož tvorbě dochází směrem vně kambiální zóny kmene a vzniká tak lýková část kmene (Rossi 2006a).

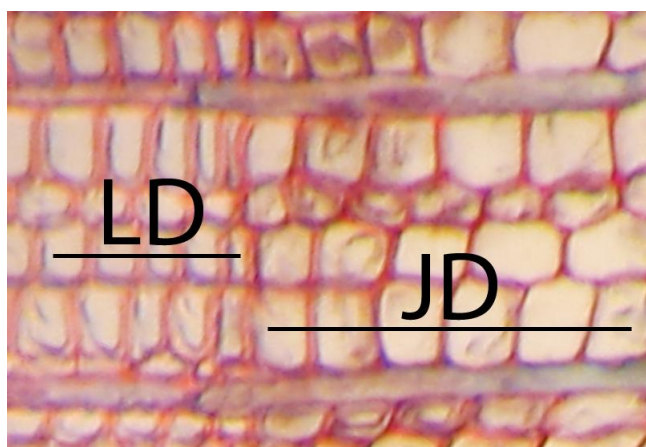


Obrázek 2: Anatomická stavba jehličnanu: TT- příčný řez, RR – radiální řez, TG-tangenciální řez, TR – tracheida, ML – buněčná přepážka, SP – tečky v křížovém poli, BP-tečky ve stěnách tracheid, HRD – horizontální pryskyřičné kanálky, VRD – vertikální pryskyřičné kanálky, AR – letokruh (převzato z Pallardy et Stephen 2008)

Buňky floému mají celkově delší životnost nežli buňky xylému (Speer 2012) a jejich produkce zpravidla předchází produkci buněk xylému (Pallardy et Stephen 2008).

Buňky xylému mají životnost kratší, zpravidla několik dní, a po svém odumření slouží jako vodivá a oporná tkáň stromu (Speer 2012), přičemž na rozvodu vody a živin se podílejí buňky, které jsou součástí letokruhů vytvořených v posledních 5-20 letech a více než 80 % vody a živin je vedeno v letokruzích starých maximálně 4 – 6 let (Körner 2012). Část kmene podílející se na rozvodu vody a živin je označována jako běl, část mrtvého dřeva, která má již pouze opornou funkci, bývá označována jako jádro. Tyto části kmene jsou často barevně odlišitelné, kdy jádro je obvykle tmavší než světlejší běl.

Uvnitř vytvořeného letokruhu lze rozlišit dva rozdílné typy buněk, a to buňky jarního a pozdního dřeva, jejichž kontrast je základem pro rozpoznání letokruhu (Speer 2012). Zatímco buňky jarního dřeva, tvořící se v první polovině vegetační sezóny, jsou charakteristické přítomností relativně velkého prostoru (lumen) oproti ploše okolních buněčných stěn, tak pro buňky pozdního dřeva, k jejichž produkci dochází na konci vegetačního období postupným zužováním tracheid (Rossi 2006b), je charakteristická menší plocha lumen vzhledem k okolním buněčným stěnám (Speer 2012), viz obrázek 2.



*Obrázek 3: Rozdíl mezi buňkami jarního (JD) a letního (LD) dřeva.*

Indikátorem růstu stromů je dělení kambiálních buněk, které je spouštěno růstovými hormony zejména auxinem, který se šíří v kambiální zóně difúzně bazipetálním směrem, tj. od vzrostných vrcholů směrem k bázi kmene (Speer 2010), rychlostí zhruba 5-20 mm za hodinu (Estelle 1998). Intenzita dělení buněk je ovlivněna množstvím hormonů v konkrétní části kmene (Pallardy et Stephen 2008). Tvorba auxinu ve vzrostných vrcholech dřevin je úzce spjata s fenofází pučení a růstem jehlic, při jejichž růstu je tento hormon vytvářen (Rossi et al. 2009). Množství vytvořených buněk xylému vytvořených v průběhu jedné vegetační sezóny je obvykle několikanásobně vyšší než množství buněk floému (Pallardy et Stephen 2008). Snížení, popřípadě vyrovnání, poměru mezi počtem



vytvořených buněk xylému a floému indikuje vliv nepříznivých růstových podmínek (Gričar et Čufar 2008). Počet buněk kambiální zóny je ovlivněn teplotou kmene, přičemž při vyšších teplotách kmene je produkováno více kambiálních buněk, což experimentálně ověřila Gričar et al (2007)

Buňka oddělená ze skupiny vaskulárního kambia, prochází během svého života několika vývojovými fázemi, kterými jsou zvětšování se, druhotné tloušťnutí buněčných stěn a ztráta protoplastu (Pallardy et Stephen 2008).

Fáze zvětšování se, popř. objemového růstu (Votrubová 2010), je pro buňku charakteristická rozvolňováním buněčné stěny a absorpcí vody, což v konečném důsledku vede k radiálnímu a tangenciálnímu růstu buňky, který může vést u některých druhů jehličnanů až k vytvoření buňky o velikosti pětinasobku kambiální buňky (Pallardy et Stephen 2008).

Buňka xylému se skládá z tzv. primární a sekundární buněčné stěny (Pallardy et Stephen 2008). Primární buněčná stěna obsahuje mikrofibrily, zatímco sekundární buněčná stěna, tvořená během fáze druhotného tloušťnutí buněčné stěny, obsahuje fibrily, celulózu, lignin, hemicelulózu, pektin, proteiny a lipidy, uložené ve třech vrstvách obalujících primární buněčnou stěnu (Pallardy et Stephen 2008).

Poslední fází životního cyklu buňky je ztráta protoplastů, která ve své podstatě znamená konečné stádium života buňky a vede k ukončení jejího životního cyklu (Pallardy et Stephen 2008). Poté mluvíme o dospělých buňkách s ukončeným vývojem.

## **2.5 TVORBA DŘEVA (XYLOGENEZE) NA HORNÍ HRANICI LESA**

Růst stromů na horní hranici lesa je řízen klimatickými podmínkami, a proto jsou zde stromy považovány za indikátory zejména teplotních podmínek (Rossi et al. 2007; Körner et Paulsen 2004). Xylogeneze je komplexní proces zahrnující produkci a následnou diferenciaci buněk (Rossi et al. 2012), čímž poskytuje možnosti studia vývoje letokruhových křivek v časovém rozlišení kratším než jeden rok (Gričar et al. 2011). Kombinace všech tří předchozích faktorů činí z xylogeneze na horní hranici lesa ideální způsob pro poznání životního cyklu a limitujících teplot pro růst stromů v této oblasti (Rossi et al. 2007).

Xylogeneze začíná, když průměrné denní teploty vzduchu překročí hodnotu 2 – 4 °C (Rossi et al. 2007). Výskyt nízkých teplot na počátku jara může zpoždit reaktivaci

kambiální zóny (Thibeault-Martel et al. 2008), což může zkrátit délku růstového období. Gričar et al (2005) i Rossi et al. (2008) shodně potvrdili, že délka vegetační sezóny má pozitivní vliv na celkové množství vytvořených buněk v jejím průběhu. Rossi et al. (2008) zároveň potvrdil, že k reaktivaci kambiální zóny dochází u věkově starších jedinců, řádově starších o desítky let, s časovým zpožděním a množství jimi vytvořených buněk v průběhu vegetačního období je nižší než u mladších jedinců rostoucích ve stejných podmínkách. K reaktivaci kambiální zóny může, vlivem omezené rychlosti rozvodu auxinu, docházet se zpožděním i u jedinců vyšších (Estelle 1998), což podporuje i pozorovaný fakt, že růst kořenové soustavy může být oproti růstu kmene zpožděn až o jeden měsíc (Thibeault-Martel et al. 2008).

K maximálním buněčným přírůstkům dochází u jehličnatých stromů na horní hranici lesa v období s nejdelší fotoperiodou (Rossi et al. 2006b, 2007, 2008, 2012; Gričar et al. 2007; Gryc et al. 2011). U některých druhů listnatých stromů v oblasti středomoří k němu může docházet i dříve, patrně vlivem dostatku dostupné vláhy (Čufar et al. 2008). V případě měření pomocí dendrometrů byly Deslauriers et al. (2007) pozorovány nejvyšší radiální přírůsty na přelomu července a srpna, nicméně tato data vykazují nejistoty v podobě cyklu kmene, který souvisí s kolísáním množství vody obsažené ve kmeni v průběhu vegetačního období.

Körner et Paulsen (2004) udávají délku vegetačního období, založeného na výskytu příhodných klimatických podmínek, v rozmezí od 129 do 139 dní. Naproti tomu Rossi et al (2007) pozoroval délku vegetačního období, vymezeného pozorováním přírůstu dřevní hmoty smrku ztepilého, na horní hranici lesa v rozmezí od 100 do 140 dní. Körner (2012) uvádí minimální délku vegetačního období na alpské hranici lesa na 90 dní. Pro vymezení části vegetačního období, ve kterém dochází k přírůstkům dřevní hmoty, je v mé práci využíván termín **růstové období**. Moser et al. (2009) zaznamenala růstové období na horní hranici lesa o délce 101 dní a prodlužování délky růstového období mezi 1350-2150 m n. m. s klesající nadmořskou výškou v průměru o 3 – 4 dny na 100 výškových metrů.

### 3 FYZICKOGEOGRAFICKÉ CHARAKTERISTIKA

#### 3.1 GEOLOGICKÉ A GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Krkonoše jsou tvořeny jednotkou krkonošsko-jizerského krystalinika a krkonošsko-jizerského plutonu, které jsou součástí Západosudetské oblasti (Chlupáč et al. 2011). Obě jednotky jsou tvořeny převážně fylity, svory a rozsáhlými masivy žul a rul (Chaloupský et al. 1989).

Hlavním deformačním procesem, působícím na vývoj celé západosudetské oblasti bylo variské vrásnění, které proběhlo na přelomu devonu a karbonu (Chaloupský et al. 1989; Chlupáč et al. 2011), jehož procesy byly završeny intruzí krkonošsko-jizerského plutonu, v hloubce přibližně 5 – 7 km (Dudek et al. in Chlupáč et al. 2011). Jeho chladnutí bylo ukončeno přibližně před 310 miliony let (Chlupáč et al. 2011). Intruzí krkonošsko-jizerského plutonu došlo zároveň ke kontaktní metamorfóze okolních břidlic (Chlupáč et al. 2011).

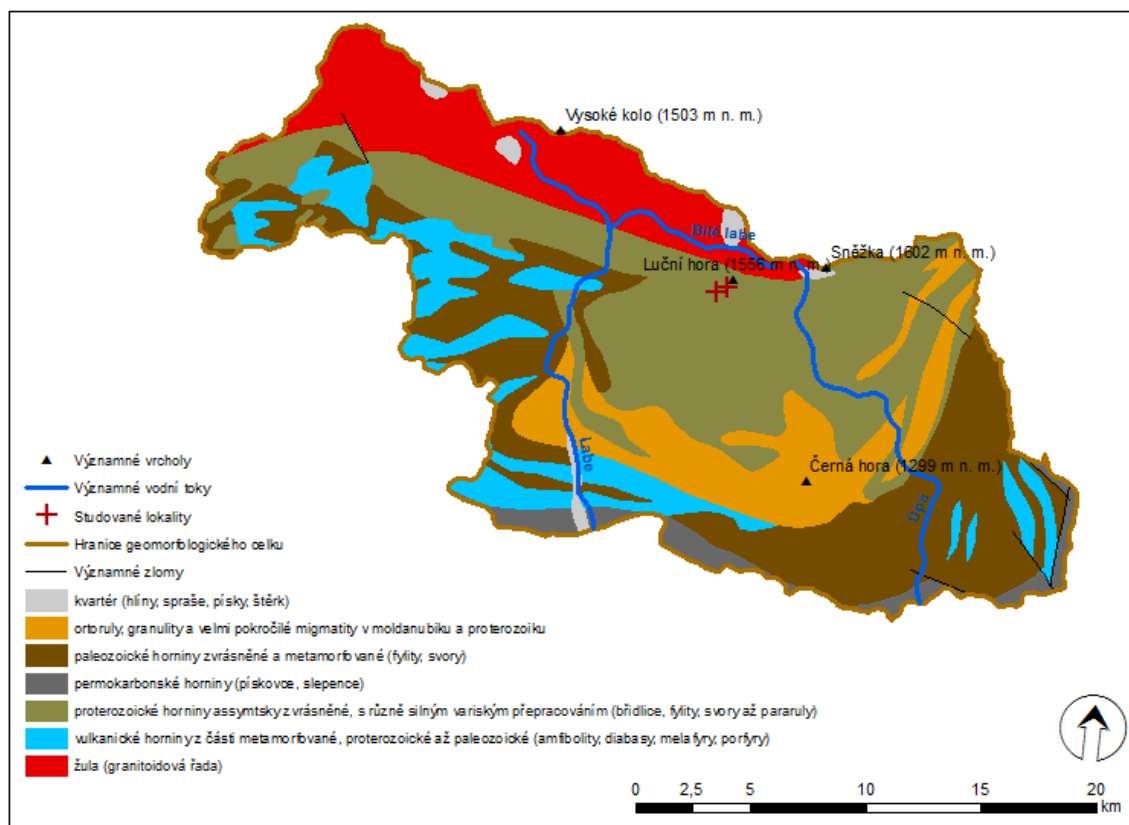
Krkonošsko-jizerský pluton dnes tvoří hlavní hřbet Krkonoš západně od Sněžky až po Jizerské hory (Chlupáč et al. 2011), jeho šířka činí od 1500 m v nejširších místech po několik stovek metrů v místech nejúžších (Plamínek 2007), na jižním a východním okraji je lemován horninami krkonošsko-jizerského krystalinika.

Krkonoše byly v průběhu mezozoika a spodního terciéru zarovnaný, což dnes dokládá existence celkem pěti úrovní zarovnaných povrchů (Migoň et Pilous 2007). V průběhu saxonské tektoniky, která postihla v miocénu okrajová pohoří českého masívu, byly Krkonoše vyzdviženy (Plamínek et al. 2007; Chlupáč et al. 2011). Vyšší nadmořská výška zarovnaných povrchů v severní části Krkonoš ukazuje na vyšší intenzitu vyzdvihu severní části Krkonoš (Migoň et Pilous 2007).

V průběhu pleistocénu došlo několikrát k zalednění Krkonoš (Engel 2007; Engel et al. 2010), přičemž dochované glaciální tvary pocházejí z období viselského (würmského) glaciálu (Engel, 2007, Migoň et Pilous 2007). Nejdelší údolní ledovec se nacházel pravděpodobně v údolí Úpy (Engel 2007). Celkové ochlazení a přítomnost periglaciálního prostředí dokládá i velké množství reliktních i recentních tvarů vázaných na přítomnost periglaciálního prostředí dokládaných Křížkem et al. (2007).

Dle regionálního geomorfologického členění reliéfu Čech jsou Krkonoše jako celek řazeny v rámci Evropy do Hercynského subsystemu, české vysočiny, krkonošsko-jesenické

subprovincie, Krkonošské oblasti (Balatka et Kalvoda 2006). Střední výška Krkonoš činí 1162 m n. m., přičemž nejvýše položený bod se nachází v nadmořské výšce 1602 m, nejnižší pak v nadmořské výšce 440 m (Balatka et Kalvoda 2006).



Obrázek 4: Geologická mapa Krkonoš (základní geologická mapa 1:500 000, dostupná z [geoportal.cenia.cz](http://geoportal.cenia.cz)).

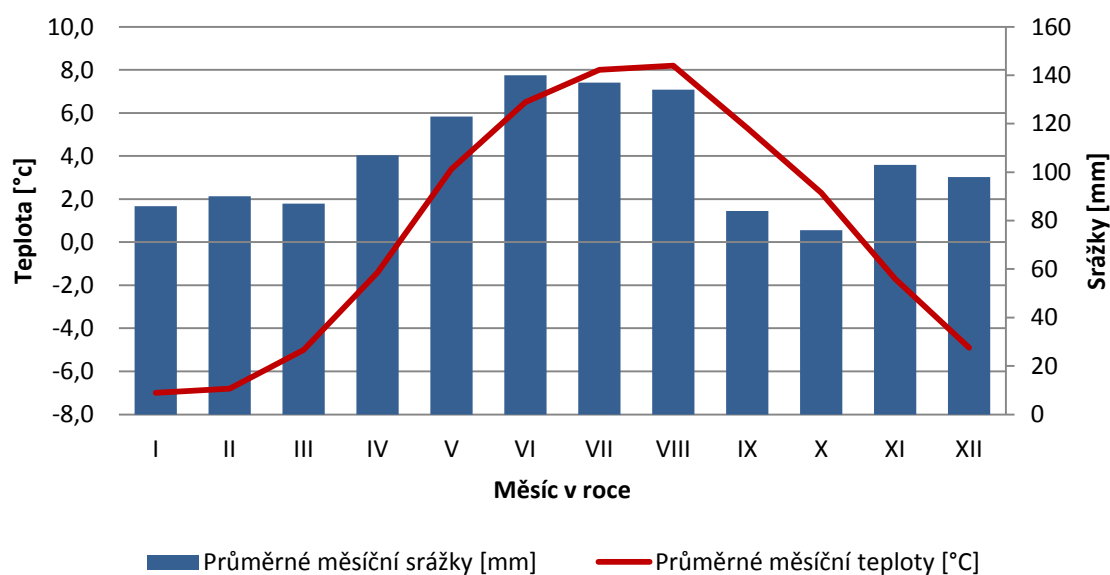
### 3.2 KLIMA

Většina území Krkonoš náleží podle Quittovy klasifikace klimatu, pro roky 1901 – 2000, uvedené v Atlase krajiny České republiky do „velmi chladné na srážky bohaté oblasti“, „chladné na srážky bohaté oblasti“, „chladné oblasti“ a „mírně teplé oblasti“ (Hrnčiarová et al. 2009), což dokládá i klimadiagram (obrázek 5) pro meteorologickou stanici Sněžka (1602 m. n. m.), ležící v oblasti velmi chladné na srážky bohaté, za období 1961 – 1991.

Tabulka 2: Charakteristiky vybraných klimatických oblastí (upraveno podle Hrnčiarová et al. 2009)

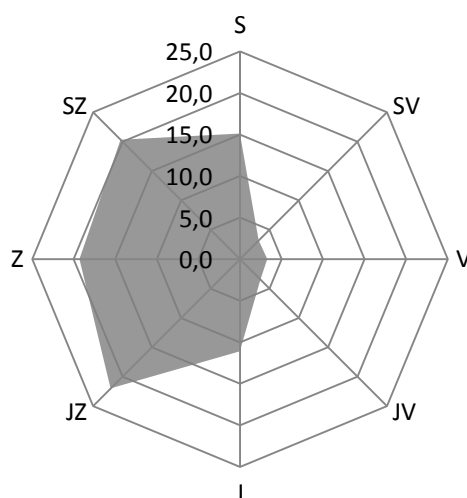
Oblast / Roční období	Léto	Přechodné období	Zima
velmi	velmi krátké s <10 letními	velmi dlouhé s >180	Velmi dlouhá s >70

chladná na srážky bohatá (900 – 1602 m n. m.)	dny, velmi chladné s průměrnou teplotou <12 °C, velmi vlhké se srážkami >400 mm, >140 dny se srážkami >1 mm	mrazovými dny, velmi chladným jarem s průměrnou teplotou <3 °C, s dlouhým podzimem s průměrnou teplotou <4 °C	ledovými dny, velmi chladná s průměrnou teplotou <-4 °C, bohatými srážkami >400 mm, dlouhým trváním sněhové pokrývky >120 dnů
Chladná 700 – 900 m n. m.	krátké s 10-20 letními dny, chladné s průměrnou teplotou 12-13 °C, vlhké se srážkami 200-400 mm, >140 dny se srážkami >1 mm	velmi dlouhé s >180 mrazovými dny, velmi chladným jarem s průměrnou teplotou <3 °C, chladným podzimem s průměrnou teplotou <4 °C	Velmi dlouhá s >70 ledovými dny, velmi chladná s průměrnou teplotou <-4 °C, srážkami 200-400 mm, dlouhým trváním sněhové pokrývky 80-120 dnů
Chladná na srážky bohatá (500 – 700 m n. m.)	krátké s 10-20 letními dny, chladné s průměrnou teplotou 12-13 °C, velmi vlhké se srážkami >400 mm, >140 dny se srážkami >1 mm	dlouhé s 160-180 mrazovými dny, velmi chladným jarem s průměrnou teplotou 3-5 °C, chladným podzimem s průměrnou teplotou 4-6 °C	Velmi dlouhá s 60-70 ledovými dny, velmi chladná s průměrnou teplotou -3 až -4 °C, bohatými srážkami >400 mm, dlouhým trváním sněhové pokrývky 80-120 dnů
mírně teplá (pod 500 m n. m.)	přiměřené s 20-40 letními dny, mírně teplé s průměrnou teplotou 13- 15 °C, přiměřeně vlhké se srážkami 200-400 mm, 100- 140 dny se srážkami >1mm	přiměřeně dlouhé se 140- 160 mrazovými dny, chladným jarem s průměrnou teplotou 5-7 °C, mírně teplým podzimem s průměrnou teplotou 6-8 °C	normálně dlouhá s 50-60 ledovými dny, mírně chladná s průměrnou teplotou -2 až -3 °C, přiměřenými srážkami 200-400 mm, přiměřeným trváním sněhové pokrývky 50-80 dnů



Obrázek 5: Klimadiagram meteorologické stanice Sněžka pro roky 1961 – 1991 (upraveno podle Metelka et al. 2007)

Protažení krkonošsko-jizerského krystalinika, které určuje i protažení hlavních hřebenů Krkonoš ve směru západoseverozápad – východojihovýchod a výrazná převaha proudění vzduchu se západní složkou (obrázek 6), napomáhá vzniku pro Krkonoše typických mezoklimatických a mikroklimatických podmínek, označovaných Jeníkem (1961) jako anemo-orografické systémy. Tyto jevy mají za následek nerovnoměrné rozložení sněhové pokrývky a vyšší rychlosti větru na zarovnaných površích a návětrných hřebenech a naopak turbulentní proudění vzduchu a ukládání sněhu v závětrných stranách hřebenů (Jeník 1961; Soukupová et al. 1995).



Obrázek 6: Směrová růžice převládajících směrů větru na klimatické stanici Sněžka pro roky 1961 – 1991 (upraveno podle Metelka et al. 2007)

Na základě Quittovy klasifikace topoklimatu dominujícího ve spodní části mezní vrstvy atmosféry, uvedené v Atlase krajiny české republiky (2009), jsou Krkonoše řazeny do klimatu vysokých pohoří, pohoří, vrchovin, pahorkatin a hluboce zaříznutých forem. Charakteristiky jednotlivých tříd jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Charakteristiky vybraných topoklimatických oblastí (Hrnčiarová et al. 2009)

	Termické příčiny turbulence	Dynamické příčiny	Velikost a trvání vírových	Variabilita vektoru větru s	Konfluence a difluence	Rozptyl atmosférických	Četnost teplotních inverzí	Trvání teplotních inverzí	Intenzita teplotních inverzí
Klima vysokých pohoří	5	5	5	5	5	1-5	1-4	1-3	1-4
Klima pohoří	4	4	4	4	4	2-5	1-4	1-3	1-3
Klima vrchovin	3	3	3	3	4	3-5	1-3	1-2	1-2
Klima pahorkatin	2	2	2	2	2	4-5	1-2	1-2	1-2
Hluboce zaříznuté formy	5	5	5	5	5	1-2	5	2	3

1. Žádná nebo velmi nízká četnost jevu;
2. Nízká četnost jevu;
3. Průměrná četnost jevu;
4. Vysoká četnost jevu;
5. Velmi vysoká četnost jevu.

### 3.3 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Důležitým faktorem při utváření současné říční sítě v Krkonoších je její úzká vazba na strukturní a tektonické podmínky vzniklé v období saxonské tektoniky (Migoň et Pilous 2007). Říční síť Krkonoš má mřížkovitý charakter, přičemž směr toků je často rovnoběžný s hlavním hřebenem (Hunčarová et Parzóch 2007). Typickým rysem všech krkonošských vodních toků je jejich nevyrovnaný příčný profil s řadou stupňů, které vznikly jako důsledek výše zmíněných tektonických událostí (Migoň et Pilous 2007; Hunčarová et Parzóch 2007).

Hlavní krkonošský hřeben (Slezský hřeben) tvoří rozvodí mezi Baltským a Severním mořem (Hunčarová et Parzóch 2007). Nejvýznamnějším tokem české části Krkonoš je Labe, které je tokem I. řádu (Němec et Hladný 2006), a do jehož povodí, až na drobné výjimky, spadají celé Krkonoše. Dalšími významnými toky jsou Úpa a Jizera (Hunčarová et Parzóch 2007), na polské straně je hlavním tokem Kamiená (Migoň et Pilous 2007).

Hlavními zdroji vody krkonošských vodních toků jsou atmosférické srážky (Hunčarová et Parzóch 2007). Pro krkonošské toky jsou charakteristické náhlé změny vodnosti a vysoký specifický odtok, jehož hodnota se pohybuje okolo 75 % (Hunčarová et Parzóch 2007). Maximální vodnosti dosahují vodní toky v období největšího tání sněhu, tj. v dubnu a v květnu, nejmenších pak v průběhu ledna a února, vlivem akumulace značného množství vody ve sněhové pokrývce a nižších teplot, dále pak koncem léta a začátkem podzimu (Hunčarová et Parzóch 2007).

V Krkonoších se na polské straně nacházejí dvě velká horská jezera ledovcového původu, Wielky a Mały staw (Vrba et al 2008), a jedno menší na straně české, Mechové jezero (Engel et al. 2009). Na zarovnaných površích se nachází četná rašeliniště, největší organogenní jezero české části Úpského rašeliniště bylo mapováno Poštou (2005).

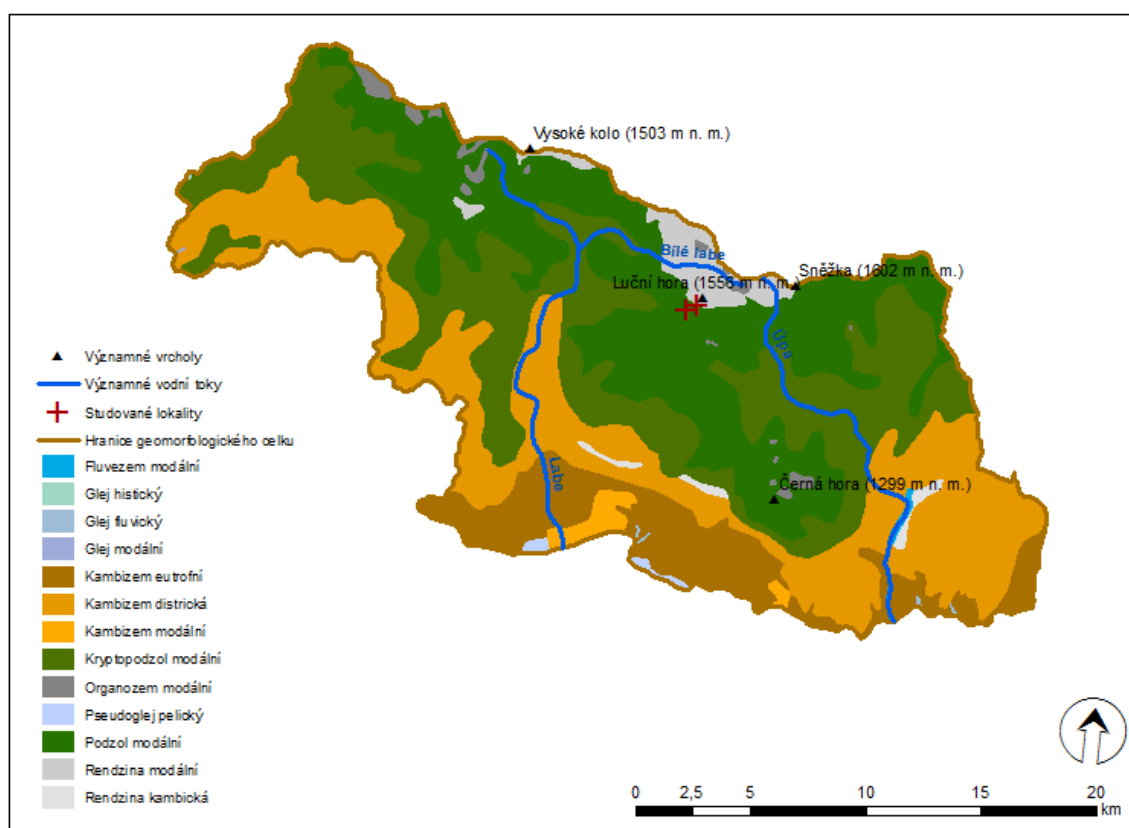
### 3.4 PŮDY

Jelikož v Krkonoších převazují převážně kyselé půdotvorné substráty, mají i výsledné půdy kyselou půdní reakci a jsou minerálně chudé (Podrázský et al. 2007). Půdy na žulových substrátech jsou písčité až hlinitopísčité, půdy, jejichž matečným substrátem jsou ruly či svory, mají hlinitější charakter a půdy na fylitech jsou obvykle písčitohlinité (Podrázský et al. 2007). Vzhledem k nízkým průměrným ročním teplotám a vysokým úhrnům srážek převažuje u krkonošských půd syrová forma nadložního humusu, tj. mor (Tomášek et al. 1983, Němeček et al. 2011).

V Krkonoších je vyvinuta výrazná výšková stupňovitost půd (Vacek et al. 2003), která je částečně patrná na obrázku 7. Zatímco v nižších polohách převládají půdy z referenční třídy kambisoly, které jsou od 800 m n. m. nahrazovány půdami z referenční třídy podzosoly, přičemž v polohách od 800 m n. m. se nacházejí kryptopodzoly, v polohách nad 1000 m n. m. pak převažují podzoly (Tomášek et al. 1983; Vacek et al. 2003; Podrázský et al. 2007, Němeček et al. 2011). Podzoly tvoří zhruba 68 % půdního pokryvu Krkonoš (Vacek et al. 2006). Azonálně se v Krkonoších vyskytují zejména v oblastech vodních toků glejosoly a v oblastech rašelinišť pak organozemě (Podrázský et al. 2007). V nejvyšších polohách je možné najít rendziny (viz obrázek 7).

Zhruba od 50. let 20. století dochází v Krkonoších k výraznému okyselování půd vlivem depozice oxidů síry a dusíku (Vacek et al. 2006). Vrchol acidifikace krkonošských půd nastal v 80. letech 20. století a byl patrný zejména na exponovaných výše položených plochách, kde se nacházejí staré smrkové porosty (Vacek et al. 2006). Hodnoty pH se v 80. letech pohybovaly v případě podzolů okolo 3,60 v horizontu Ep, v případě kryptopodzolů 4 v horizontu Ap (Vacek et al. 2006). Stav na počátku 21. století nebyl o mnoho lepší, spíše naopak, přičemž hodnoty pH pro podzoly se pohybovaly okolo 3,88 v horizontu Ep, pro kryptopozoly pak okolo 3,8 v horizontu Ap (Vacek et al. 2006).





Obrázek 7: Půdní mapa Krkonoš (Klasifikace půdních typů podle TKSP dostupná z [geoportal.cenia.cz](http://geoportal.cenia.cz))

### 3.5 VEGETACE

V Krkonoších je možné najít čtyři výškové vegetační stupně. Nejníže položeným je stupeň submontánní, v nadmořských výškách od 400 do 800 m n. m., pokrývající zhruba 50 % rozlohy Krkonoš, v němž lze nalézt zejména acidofilní bučiny, méně častý je výskyt květnatých a horských klenových bučin (Chytrý et al. 2001; Štursa 2007). Na submontánní stupeň navazuje stupeň montánní, mezi 800 – 1200 m n. m., pokrývající zhruba 40% plochy Krkonoš. V něm jsou zastoupeny zejména biotopy horských třtinových smrčín, popřípadě papratkových smrčín či rašelinných a podmáčených smrčín (Chytrý et al. 2001; Štursa 2007). Nejvýše položeným stupněm je subalpínský, tvořící 9,3 % plochy Krkonoš, nacházející se v nadmořských výškách od 1200 – 1450 m n. m., tvořený subalpínskými křovinami, vysokostébelnými nivami, loukami a rašeliništi, a alpínský, pokrývající 0,7 % plochy Krkonoš v nejvyšších partiích od 1450 m n. m. po vrchol Sněžky v nadmořské výšce 1602 m n. m. Zde dominují biotopy zapojených alpínských trávníků a kosodřeviny, méně častý je výskyt biotopů subalpínské brusnicové vegetace, subalpínských vysokostébelných trávníků, subalpínských vysokostébelných niv (Chytrý et al. 2001; Štursa 2007). Výškové vegetační stupně jsou vlivem anemo-orografických systémů

porušeny na návětrných a závětrných svazích vlivem redistribuce sněhové pokrývky v průběhu zimy a vyšším stresem na návětrných svazích (Štursa 2007).

V arktoalpínské tundře lze dle Soukupové et al. (1995) na základě rozdílů v topoklimatu Krkonoš rozlišit tři odlišné zóny tundry a to (i) kryo-eolickou zónu, nacházející se na vrcholových partiích Krkonoš, odkud je během zimy odvíván sníh, (ii) kryo-vegetační zónu, pro kterou je charakteristický výskyt na plochých částech vyzdvižených zarovnaných povrchů, a (iii) niveo-glaciální zónu, kterou lze nalézt v nivačních depresích a prostorech karů. Klimatické podmínky v arktoalpínské tundře nenabízejí podmínky pro dlouhodobý vitální růst jedinců smrku ztepilého, a proto se zde nacházejí pouze zakrslí jedinci (Soukupová et al. 1995).

### **3.6 ANTROPOGENNÍ OVLIVNĚNÍ KRKONOŠSKÉ PŘÍRODY**

Počátky kolonizace Krkonoš sahají do období vrcholného středověku, předchozí působení člověka bylo sporadické a v podstatě bezvýznamné, souviselo s lovem zvěře nebo přechody za účelem obchodu či získání strategické výhody v průběhu vojenských konfliktů (Hartmanová et al. 2007). V 15. – 16. století došlo k prvotní rozsáhlé kolonizaci a také k nejvýraznější změně krajinného pokryvu v historii Krkonoš, tedy k mýcení původních smrkojedlobukových porostů (Podrázský et al. 2007), které byly následně po Labi a Úpě dopravovány do Kutné Hory (Lokvenc 2007). Přirozené lesní porosty se zachovaly pouze v nejvyšších partiích Krkonoš (Schwarz 2009).

Dřevorubci těžící dřevo pro kutnohorské doly zakládali první boudy, které byly zpočátku využívány jen sezónně (Lokvenc 2007). Boudy určené k celoročnímu užívání byly zakládány na přelomu 18. a 19. století, přičemž patrně první celoročně obývanou boudou byla Luční bouda (Lokvenc 2007). Boudy byly zakládány obvykle na jižních svazích v nadmořských výškách 1200 – 1350 m n. m. a sloužily zejména k pěstování skotu (Lokvenc 2007). V důsledku budního hospodářství došlo patrně ke snížení polohy horní hranice lesa místy až o 200 metrů (Lokvenc 2007).

Na přelomu 18. a 19. století je možné vystopovat počátky systematického hospodaření v krkonošských lesích. Historické prameny uvádějí, že v 19. století již byla většina lesních porostů, vyjma těch v nejvyšších polohách, přeměněna na smrkové monokultury (Schwarz 2009).

Od 50. let 20. století docházelo v Krkonoších k postupnému odumírání dřevin způsobených vysokým imisním zatížením horských smrčín (Hřebačka 2009), které vyvrcholilo zhruba o 30 let později, tj. v osmdesátých letech minulého století (Podrázský et al. 2007), kdy bylo vymýceno v důsledku imisního zatížení 8.000 ha odumřelých lesních porostů zastoupených převážně smrkem (Vacek et al. 2006). Defoliace pokračovala v horských smrčinách i po odsíření hlavních zdrojů emitů škodlivých látek, které proběhlo v 90. letech 20. století (Hruška et al. 2009). Imisní zatížení bylo způsobené zejména atmosférickou depozicí oxidů síry, které dosahovaly v 80. letech minulého století až  $60 \mu\text{g m}^{-3}$  vzduchu, a oxidů dusíku (Hruška et al. 2009).

### 3.7 OCHRANA PŘÍRODY

První snahy o ochranu přírodního prostředí Krkonoš lze vystopovat v 70. a 80. letech 19. století (Potocki et Štursa 2007). Ve stejné době je možné pozorovat i počátek rozvoje turistiky a výstavby nových turistických bud a to i v nejvyšších partiích Krkonoš (Potocki et Štursa 2007).

K vyhlášení první krkonošské přírodní rezervace došlo v Krkonoších na počátku 20. století (Potocki et Štursa 2007). Další přírodní rezervace byly na české i na německé straně vyhlášeny na krátkou dobu v meziválečném období (Potocki et Štursa 2007).

Poválečné období ochraně přírody příliš nepřálo a první kroky nových krkonošských osadníků byly zaměřeny spíše na obnovení intenzivní pastvy, popřípadě na budování nových lanovek a sjezdovek. Další přírodní rezervace byly vyhlášeny až roku 1952 a znamenaly první krok k vytvoření národních parků na obou stranách hranice (Potocki et Štursa 2007).

Jako první byl roku 1959 založen Karkonoski park narodowy a o čtyři roky poté, tj. 1963 KRNP, Krkonošský národní park (Potocki et Štursa 2007).

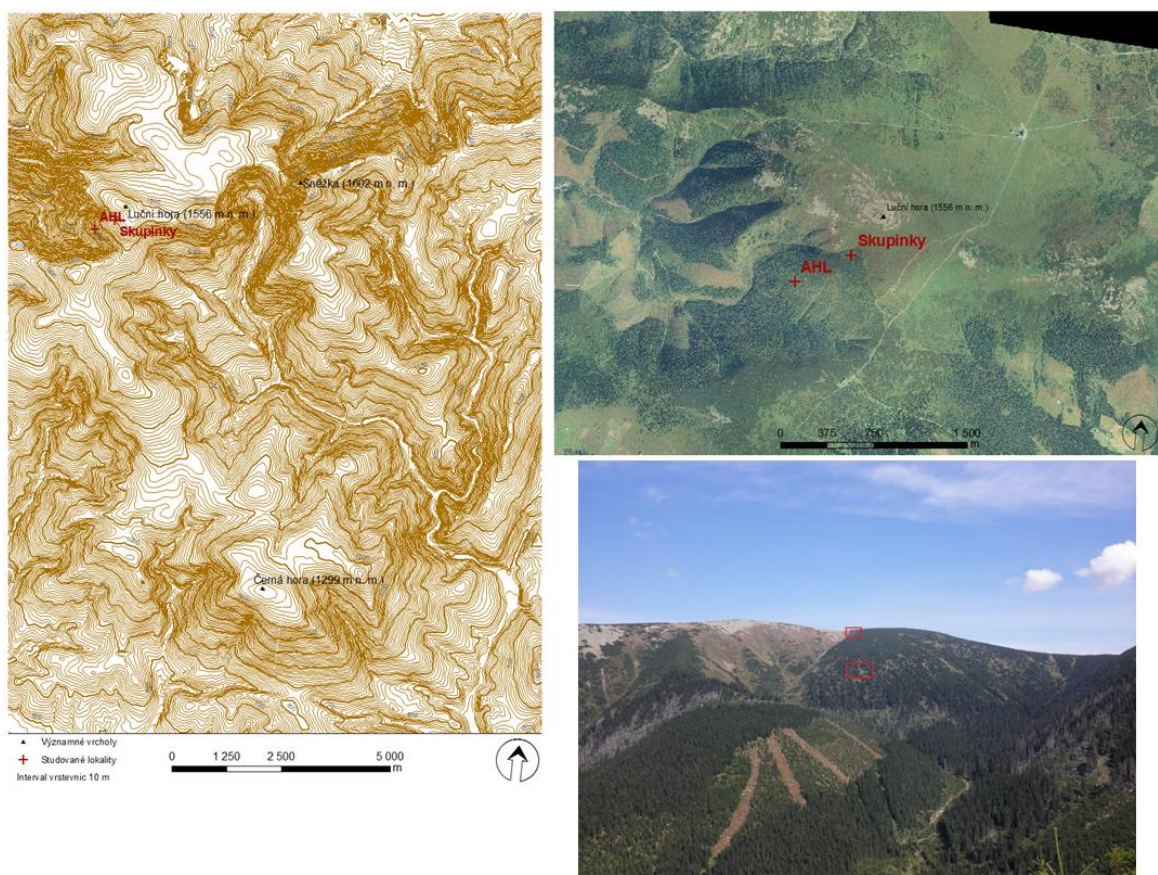
### 3.8 VYMEZENÍ STUDOVANÝCH LOKALIT

Sběr dat probíhal v letech 2011 a 2012 na dvou lokalitách ve výškovém transektu na jižním svahu Luční hory (1555 m n. m.) ve východních Krkonoších (obrázek 8).

První lokalita s pracovním názvem „alpínská hranice lesa“, zkracovaná dále „AHL“, se nachází přibližně v místech horní hranice zapojeného lesa (souřadnice  $50^{\circ}43'19.251''\text{N } 15^{\circ}40'19.867''\text{E}$ ) v nadmořské výšce přibližně 1310 m n. m. Lokalita leží na jihozápadně orientovaném svahu a průměrná sklonitost na této lokalitě je zhruba  $25^{\circ}$ .

Na ploše dominuje smrk ztepilý, v křovinném patře se sporadicky vyskytuje borovice kleč (*Pinus mugo*), v patře bylinném dominuje metlička křivolaká (*Avenella flexuosa*), třtina chloupkatá (*Calamagrostis villosa*) a charakteristický je výskyt brusnice borůvky (*Vaccinium myrtillus L.*). Půdním typem dominujícím na sledované lokalitě je podzol.

Druhá lokalita s pracovním názvem „skupinky“ se nachází na horní hranici vymezeného ekotonu horní hranice lesa ve stromových skupinkách, kde výšky jedinců smrku ztepilého dosahují 3-5 m, v nadmořské výšce zhruba 1450 m n. m. (souřadnice 50°43'27.278"N 15°40'42.525"E). Orientace svahu, na němž se lokalita nachází je západojihozápadní s průměrnou sklonitostí okolo 10°. Dominantní dřevinou je smrk ztepilý, v křovinném patře se vyskytuje borovice kleč (pokryvnost 20%), v bylinném patře dominuje opět metlička křivolaká. Podstatně méně častý byl oproti níže položené lokalitě výskyt brusnice borůvky, zato se zde nachází hojná stanoviště vřesu obecného (*Calluna vulgaris*), brusnice brusinky (*Vaccinium vitis-idaea L.*) a smilky tuhé (*Nardus stricta*). Dominantním půdním typem na sledované lokalitě je rovněž podzol.



Obrázek 8: Poloha zájmového území.

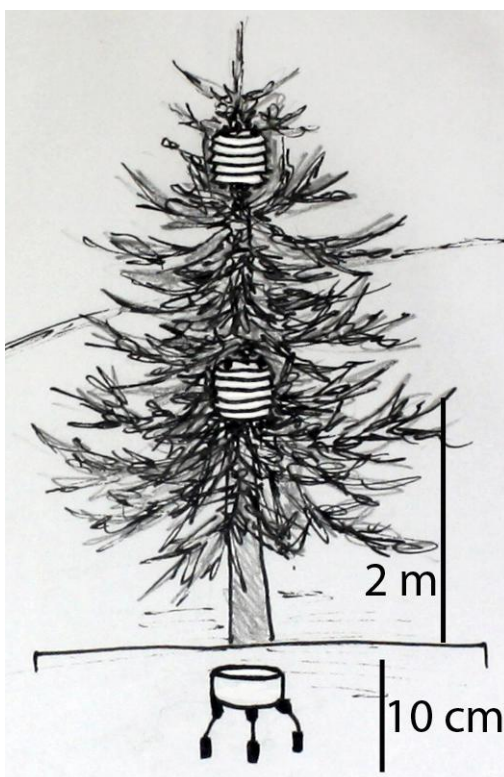
## 4 METODIKA

### 4.1 MIKROKLIMATICKÁ MĚŘENÍ

#### 4.1.1 MĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY

Na obou zájmových plochách byly měřeny následující teplotní charakteristiky: (i) teploty půdy v 10 cm pod povrchem v zástínu koruny a to z důvodu přítomnosti nejvyššího podílu jemné kořenové soustavy smrku v této hloubce; (ii) teploty vzduchu při kmeni ve výšce 2 m nad povrchem, (iii) teploty vzduchu při vzrostném vrcholu; a (iv) od počátku vegetačního období 2012 byla navíc také měřena půdní vlhkost – tzv. sací tlak v 10 cm pod povrchem, hloubka byla zvolena ze stejného důvodu jako v případě měření teplotních poměrů půdy.

Teplotní poměry v okolí vzrostného vrcholu jsou důležité z důvodu tvorby růstových hormonů v těchto částech stromů. Teplotní poměry půdy jsou pak důležité zejména proto, že růst kořenů odpovídá stejným fyziologickým podmínkám jako růst ostatních částí stromu, a je ve vztahu k teplotním podmínkám senzitivnější než růst nadzemních částí stromů (Körner et Paulsen 2004).



Obrázek 9: Schéma měření teplot a sacího potenciálu půdy na lokalitě "skupinky" (kresba Veronika Langmajerová).



#### 4.1.2 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Teplotní charakteristiky půdy byly měřeny pomocí záznamových zařízení (i) Datalogger MicroLog T3, jež dokáže zaznamenat teplotní charakteristiky v rozhraní od -20 do +60 °C s přesností  $\pm 0,2$  °C, kapacitou 20.000 záznamů, pro tři záznamové kanály, a výdrží baterie pět let, a (ii) Datalogger Minikin T, s teplotním rozhraním od -30 do +60 °C, s přesností  $\pm 0,2$  °C, pamětí na 60.000 záznamů, pro jeden záznamový kanál, a výdrží baterie minimálně šest let (zdroj: EMS Brno).

Teplotní charakteristiky vzduchu v koruně a ve dvou metrech nad zemí byly zaznamenávány pomocí Dataloggeru Minikin RT, s teplotním rozhraním od -30 °C do +60 °C, s přesností  $\pm 0,2$  °C, pamětí na 60.000 záznamů, pro jeden záznamový kanál, a výdrží baterie minimálně šest let (zdroj: EMS Brno).

Měření vlhkostního potenciálu půdy probíhalo pomocí Dataloggeru MicroLog SP3, s rozsahem měření relativní vlhkosti 0 až 100 %, v teplotních podmínkách od -20 do +60 °C a výdrží baterie až 5 let, při zaznamenávání dat pro ve třech kanálech (zdroj: EMS Brno).

Všechny sledované veličiny byly měřeny v hodinových intervalech. Použitá záznamová zařízení jsou vyobrazena na obrázku 10.



Obrázek 10: Použitá záznamová zařízení – (I) Microlog T3; (II) Microlog SP3, (III) Mikin T, (IV) Mikin RT (zdroj: EMS Brno).

#### 4.1.3 ZPRACOVÁNÍ DAT

Ze získaných dat byly vytvořeny denní průměry dle níže uvedeného vzorce:

$$t_j = \frac{\sum_{i=1}^{24} t_i}{24}$$

Kde „ $t_j$ “ je průměrná teplota konkrétního dne a „ $t_i$ “ je teplota pro konkrétní hodinu v daném dni.

Z průměrných denních hodnot byly dále vypočteny pětidenní klouzavé průměry, charakterizující chod teplot v předchozím období a konkrétním dni, dle vzorce:

$$t_{5Davg} = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{5}$$

Kde „ $t_{5avg}$ “ je výsledná hodnota sedmidenního klouzavého průměru a „ $t_i$ “ je hodnota průměrné teploty konkrétního dne.

#### 4.1.4 ANALÝZA MIKROKLIMATU

Hlavním cílem analýzy mikroklimatu bylo zjištění teplotních rozdílů jednotlivých měřených veličin mezi oběma lokalitami. Porovnání probíhalo na úrovni průměrných, průměrných minimálních a maximálních teplot a průměrných amplitud denních teplot, tj. průměrných rozdílů denních maxim a minim v kalendářním měsíci.

Dále byly zkoumány rozdíly mezi jednotlivými veličinami z pohledu časového období, v jakém období bylo dosaženo nejvyšších průměrných teplot a amplitud teplot, porovnání průměrných měsíčních teplotních charakteristik a porovnáním teplotních charakteristik obou lokalit mezi sebou.

Hodnota vertikálního teplotního gradientu reprezentuje rozdíl průměrných teplot vzduchu při kmeni, v korunách a teplot půdy mezi lokalitami, za celé období, kdy na lokalitách probíhaly odběry mikrosond, tzn. od 11. 4. do 20. 9. v roce 2011 a od 26. 4. do 20. 9. v roce 2012.

Pro analýzu rozdílů v časovém chodu teplot byly do grafu vyneseny průměrné hodnoty teplot, zhlazené průměrem šesti předchozích dní a konkrétního dne, tj. průměr sedmi denních hodnot z důvodu jejich nejvyššího ovlivnění přírůstu v době pro konkrétní odběr.

## 4.2 ANALÝZA XYLOGENEZE

### 4.2.1 VÝBĚR JEDINCŮ A ODBĚR VZORKŮ

Pro účely analýzy bylo vybráno na obou lokalitách v roce 2011 celkem 20 dominantních, popřípadě ko-dominantních jedinců, tj. 10 na lokalitě „AHL“, 10 na lokalitě „skupinky“. V roce 2012 bylo vybráno celkem 12 dominantních, popřípadě ko-dominantních jedinců, tj. 6 na lokalitě „AHL“, 6 na lokalitě „skupinky“. Při výběru byl brán v potaz orientační odhad věku jedinců, odhadnutý podle počtu přeslenů a velikosti daného jedince v porovnání s ostatními jedinci, resp. možnými kandidáty na zařazení do analýzy, v rámci lokalit. Tímto způsobem byly vytvořeny přibližně dvě skupiny, a to staré a mladé stromy. Stromy byly označeny a očíslovány.

Periodicky, vždy ve stejný den na obou lokalitách probíhal odběr vzorku dřeva z vybraných jedinců. Interval odběrů se pohyboval od 7 do 11 dní. Sběr mikrosond byl prováděn pomocí nástroje TREPHOR (Rossi et al. 2006a) ve výšce 1 m  $\pm$  20 cm nad bázi kmene. Parametry odebrané mikrosondy byly 2 mm v průměru a zhruba 15 mm na délku (Rossi et al. 2006a). Vzorky byly následně vloženy do epruvet, aby nedošlo k jejich mechanickému poškození, zafixovány ve 40% roztoku etanolu nebo fixačním roztoku FAA a nejdéle do 48 hodin od provedení odběru uloženy do chladicího zařízení.

Na konci obou sledovaných vegetačních období byly ze všech jedinců na lokalitě „AHL“ získány pomocí Presslerova nebozazu tři vývrty, jeden na určení věku, co nejbližší bázi kmene, a dva pro účely růstových charakteristik jedince. Na lokalitě „skupinky“ byly z důvodu snížení stresu již tak dosti stresovaných jedinců, z každého jedince odebrány pouze dva vývrty, jeden pro zjištění věku jedince, druhý pro analýzu jeho růstových proporcí. Navíc byly pro jednotlivé stromy změřeny jejich výšky, obvody kmene a výšky odběru vývrtů nad bázi kmene.

### 4.2.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Prvním krokem při přípravě vzorků bylo zaříznutí mikrosondy a označení příčného řezu, které probíhalo s pomocí binokulárního mikroskopu, se zvětšením 3x10, pod dopadajícím světlem. Mikrosonda byla zkrácena o nepotřebnou část borky a o zbytek dřeva, starší než předchozí letokruh. Následně byly takto upravené mikrosondy připraveny na odvodnění vzestupnou alkoholovou řadou a zalití do parafinu, viz tabulka 4.



Tabulka 4: Vzestupná alkoholová řada (upraveno podle Rossi et al. 2006a)

Chemikálie	Čas [min]	Poznámka
Etanol 70%	120	
Etanol 70%	120	
Etanol 90%	90	
Etanol 90%	90	
Etanol 96%	90	
Etanol 100%	90	
Etanol 100%	90	
Xylén	90	
Xylén	90	
Xylén	90	
Parafín 1	120	Vzorky byly uloženy do pece předehřáté na 65 °C
Parafín 2	120	Vzorky byly uloženy do pece předehřáté na 65 °C

Poté, co byly vzorky odvodněny, byly vloženy do krabiček, zality parafínem o teplotě 65 °C a následně rychle zchlazeny. Kvůli uchycení do mikrotomu byly parafinové bločky se zalitým vzorkem nalepeny na dřevěné špalíky.

Připravené mikrosondy byly poté nařezány pomocí sáňkového mikrotomu na plátky o tloušťce 18 – 25 µm a položeny na podložní sklíčko ošetřené adhezivem, které bylo připraveno z roztoku síranu draselného a želatiny, popřípadě se jednalo o adhezivum „glycerin albumin“. Následně byly takto nařezané mikrosondy zality destilovanou vodou, tak aby se na její hladině vznášely, a podložní sklíčka byla vložena na vyhřívací desku, předehřátou na 65 °C, kde byly ponechány po dobu minimálně 90 minut, aby došlo k důkladnému narovnání a přichycení preparátů na podložní sklíčko.

Preparáty bylo nutné posléze zavodnit sestupnou alkoholovou řadou, aby mohlo dojít k obarvení buněčných stěn organickými barvivami, viz tabulka 5. Preparáty byly poté zality roztokem safraninu a ponechány v tomto roztoku po dobu minimálně 60 minut.

Tabulka 5: Vzestupná alkoholová řada.

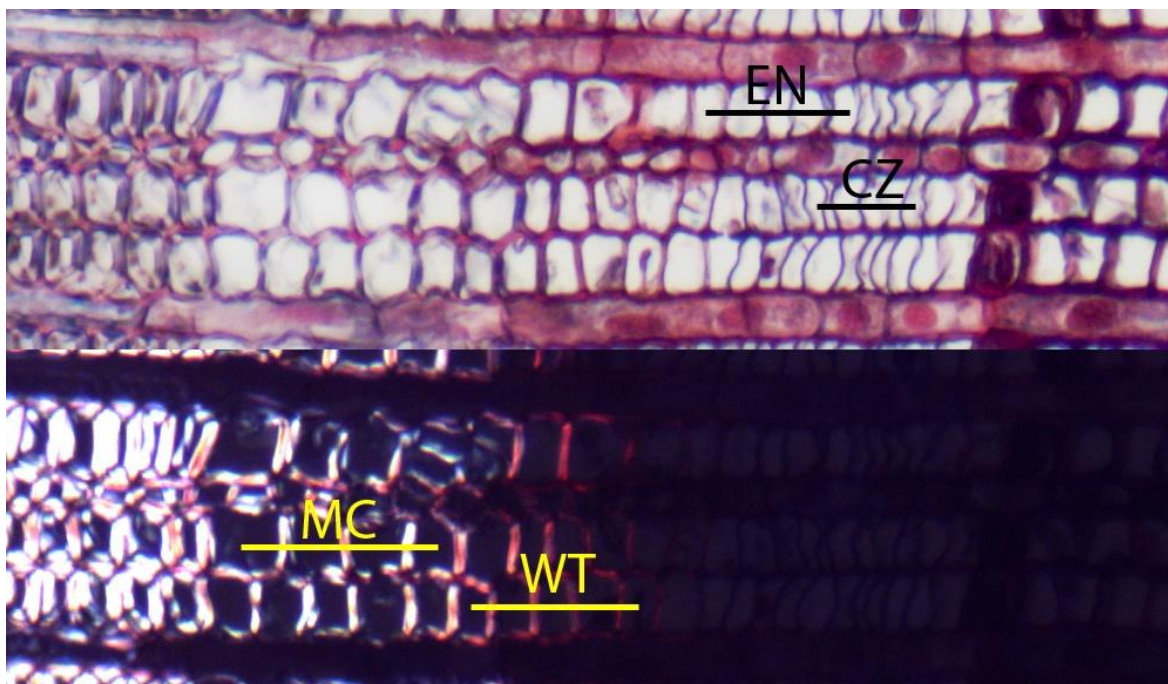
Chemikálie	Čas [min]
Xylén	4
Xylén	4
Etanol 100 %	3
Etanol 96 %	3
Etanol 90 %	3
Etanol 70 %	3

Po uplynutí 60 minut došlo k odstranění safraninu z podložních sklíček a zalití preparátů roztokem astra-modř-safranin v poměru 1:1 na minimálně 5 minut, poté bylo přebytečné barvivo z preparátů odstraněno a preparát byl znovu odvodněn vzestupnou alkoholovou řadou a xylénem, viz aplikace chemikálií uvedených v tabulce 5 v obráceném pořadí bez uvedených časových limitů.

Na závěr byly preparáty zality do kanadského balzámu, který byl vytvrzen v peci předehřáté na 65 °C po dobu minimálně šesti hodin, čímž došlo tak k vytvoření trvalého preparátu připraveného k další analýze.

#### **4.2.3 ANALÝZA VZORKŮ**

Analýza vzorků probíhala s pomocí binokulárního mikroskopu, pod procházejícím světlem, se zvětšením 10x10. Buňky byly počítány v následujících pěti kategoriích (dle Rossi et al. 2006b) a to: (nc) buňky kambiální zóny; (ne) zvětšující se buňky, u kterých započalo dělení, kritériem pro zařazení do této skupiny byla minimálně dvojnásobná velikost oproti kambiálním buňkám v podélném směru; (nw) buňky druhotně tloustnoucí, jejichž rozlišení probíhalo s pomocí polarizačního filtru, kdy lignifikující buněčné stěny světélkovaly; (nm) buňky dospělé, jejichž buněčné stěny byly sytě a zcela červené, jako důsledek reakce ligninu se safraninem, a lumen byl zcela bez protoplastu (Gryc et al. 2011); poslední kategorií (py) byl počet buněk v předchozím letokruhu. Příklad rozlišení jednotlivých typů buněk viz obrázek 11.



Obrázek 11: Modelová ukázka rozlišení jednotlivých typů buněk, kde (CZ) jsou buňky kambiální zóny, (EN) jsou zvětšující se buňky, (WT) jsou lignifikující buňky a (MC) jsou buňky dospělé.

Odečítány byly vždy tři radiální soubory pro  $nc$ ,  $ne$ ,  $nw$ ,  $nm$ , a jeden radiální soubor pro buňky  $py$ . Výsledná hodnota, reprezentující radiální soubor konkrétního jedince, byla vypočtena jako průměr ze tří radiálních souborů.

#### 4.2.4 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ POČTU BUNĚK

Na základě odečtených hodnot  $nc$ ,  $ne$ ,  $nw$  a  $nm$  byly vypočteny hodnoty  $newm$ , což je počet všech buněk xylému v radiálním souboru a  $nwm$ , reprezentující počet dospělých a druhotně tloustnoucích buněk (Rossi et al. 2003). Přičemž platí, že:

$$newm = ne + nw + nm$$

$$nwm = nw + nm$$

Z dat byly následně vypočteny průměry pro každou skupinu buněk. Viz například:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^3 ni}{3}$$

Pro odstranění chyby v datech dané excentritou jedince a rozdílné výšky odběru, což byl problém patrný zejména ve 2. polovině vegetačního období, byla data pro  $ne$ ,  $nw$ ,  $newm$  a  $nwm$  normalizována dle Rossiho et al. (2003):

$$ncor_{ij} = n_{ij} \frac{\sum_{i=1}^n py_i}{py_i}$$

Kde: (nij) počet zkorigovaných buněk, (nij) počet daného typu buněk konkrétního jedince, (pyj) počet buněk v předchozím letokruhu j-tého jedince, (pyi) počet buněk v předchozím letokruhu konkrétního jedince a (N) je celkový počet jedinců v daném období.

Počátek růstového období byl stanoven podle Rossiho et al. (2006a) na den, kdy byla v datovém souboru hodnota  $newm > 0$ .

Pro aproximaci růstu jedinců byla data následně proložena Gompertzovou křivkou (Rossi et al. 2003), ve tvaru:

$$y = Ae[-e^{\beta - \kappa t}]$$

Kde (y) týdenní kumulativní přírůstek buněk, (A) je horní asymptota stanovaná na základě maximální hodnoty počtu buněk v datové řadě, ( $\beta$ ) umístění na ose x reprezentované počátkem kambiální aktivity, ( $\kappa$ ) reprezentující sklon křivky a (t) hodnota konkrétního dne v roce (Gryc et al. 2011).

Vztah mezi výškou, popřípadě věkem, a začátkem, vrcholem a koncem zvýšené aktivity kambiální zóny byl vyhodnocen na základě korelačního koeficientu, kdy za proměnnou X byla dosazena výška, popřípadě věk, jedince a za proměnnou Y hodnota dne v roce, kdy začala, dosáhla vrcholu či skončila zvýšená aktivita kambiální zóny. Statistická významnost, byla zjištěna v programu Statistica.

$$CORREL = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}}$$

Pro identifikaci období největšího přírůstu jednotlivých typů buněk byl vypočten relativní týdenní přírůst, jenž reprezentoval rozdíl dvou hodnot, a to jak aproximovaných Gompertzovou funkcí, tak hodnot zjištěných v týdenním rozestupu.

Identifikace rozdílů mezi jednotlivými lokalitami byla zjištěna na základě rozdílů hodnot počtu buněk  $newm$ ,  $nwm$  a  $nm$  mezi oběma lokalitami vypočtených v týdenním kroku.

#### 4.2.5 STANOVENÍ POČÁTKŮ JEDNOTLIVÝCH FÁZÍ

Počátek kambiální aktivity je reprezentován dnem, kdy byl v odebraných vzorcích pozorován nárůst počtu kambiálních buněk oproti počtu pozorovaném v dřívějším období. Počátky jednotlivých fází byly stanoveny na den, v průměru za všechny mikrosondy více než jedna buňka v dané fázi.

Vrcholy všech fází byly stanoveny jako souvislé období mezi dvěma odběry, kdy pozorované počty buněk přesahovaly hodnoty třetího kvantilu počtu buněk pozorovaných pro konkrétní fázi.

#### **4.3 VZTAH RADIÁLNÍHO RŮSTU A MIKROKLIMATICKÝCH PARAMETRŮ**

Počátky jednotlivých fází byly porovnány s pozorovanými průměrnými hodnotami teplot, panujících ve čtyřech předchozích dnech a aktuálním dni, a v době mezi konkrétním a předcházejícím odběrem, přičemž byly porovnávány teplotní charakteristiky půdy, vzduchu při kmeni a vzduchu v korunách jedinců. Při analýze byly sledovány rozptyly hodnot těchto teplot, minimální a maximální teploty. Z teplotních poměrů byly sledovány minimální hodnoty teplot napříč lokalitami a rozptyl hodnot teplot.

#### **4.4 RETROSPEKTIVNÍ ANALÝZA**

Šířka letokruhů a věk jedinců byl měřen z vývrtů odebraných na konci příslušné vegetační sezóny pomocí posuvného měřicího stolu TimeTable a programu PAST4. Vývrty byly nalepeny na lišty, tracheidami kolmo k liště, a zbroušeny brusným papírem, aby došlo ke zvýraznění letokruhů.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 MIKROKLIMA

#### 5.1.1 TEPLOTNÍ POMĚRY V ROCE 2011

##### TEPLoty VZDUCHU PŘI VZROSTNÉM VRCHOLU

Různé teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu pro lokalitu „AHL“ jsou uvedeny v tabulce 6, pro lokalitu „skupinky“ pak v tabulce 7. Srovnání chodu teplot při vzrostném vrcholu na obou lokalitách je zachycen na obrázku 12.

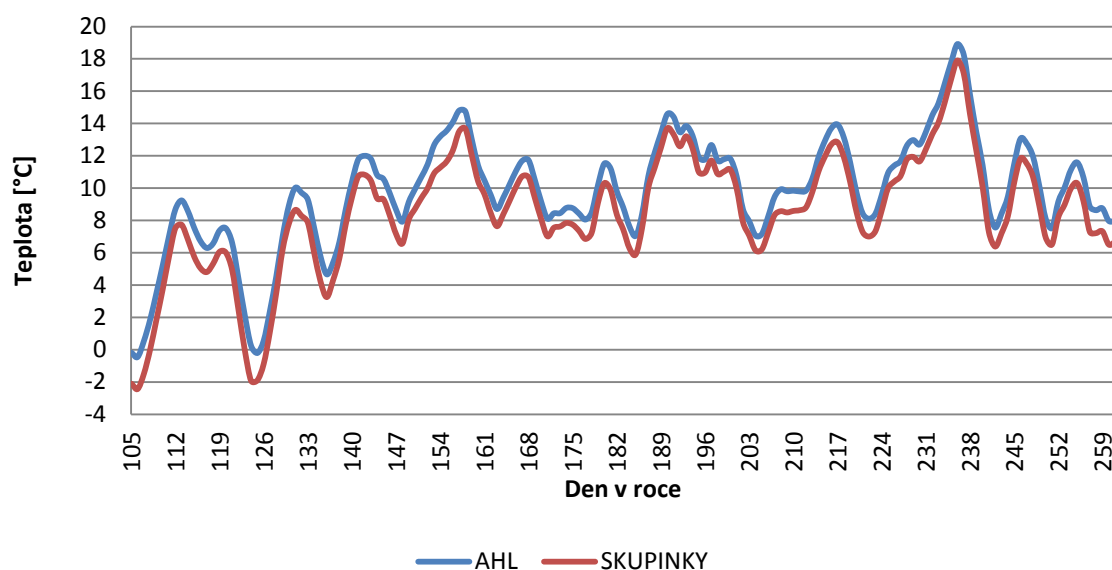
Teploty vzrostných vrcholů smrku na lokalitě „AHL“ byly ve vegetační sezóně 2011 v průměru zhruba o 1,3 °C vyšší než teploty ve vzrostných vrcholech na lokalitě „skupinky“. Na lokalitě „skupinky“ se vyskytovala nižší teplotní minima, v průměru o 1,5 °C, i nižší teplotní maxima, o zhruba 0,5 °C. Denní amplitudy teplot byly na lokalitě „skupinky“ v průměru zhruba o 0,9 °C vyšší než na lokalitě „AHL“. Nejteplejším měsícem byl ve vzrostných vrcholech na obou lokalitách srpen, druhým nejteplejším pak červen (tabulka 6 a 7). Nejnižší amplitudy teplot byly pozorovány na obou lokalitách v září, naopak nejvyšší pak v květnu. Teploty vzduchu při vzrostném vrcholu byly na lokalitě „skupinky“ v průběhu celého vegetačního období nižší než na lokalitě „AHL“, viz obrázek 12.

*Tabulka 6: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.*

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	5,1	1,8	-4,1	9,6	17,4	7,8
Květen	7,5	3,6	-5,3	12,5	20,5	8,9
Červen	10,8	7,3	3,6	15,0	22,4	7,7
Červenec	10,4	7,6	2,9	14,0	23,0	6,3
Srpen	12,3	9,2	3,2	16,3	25,8	7,0
Září (do 20.)	9,8	6,9	3,7	13,2	21,9	6,2

*Tabulka 7: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období roku 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.*

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	3,4	0,0	-5,9	8,6	21,3	8,6
Květen	6,1	1,8	-7,3	12,7	21,9	10,8
Červen	9,6	5,9	1,9	14,7	24,4	8,8
Červenec	9,4	6,4	1,3	13,5	25,4	7,2
Srpen	11,2	7,9	1,9	15,5	26,1	7,6
Září (do 20.)	8,6	5,6	2,2	12,3	21,8	6,7



Obrázek 12: Denní chod teplot vzduchu při vzrostopných vrcholech smrku na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2011.

#### TEPLoty VZDUCHU PŘI KMENI

Teploty vzduchu byly ve vegetačním období roku 2011 na lokalitě „AHL“ v průměru o 1,7 °C vyšší než na lokalitě „skupinky“ (obrázek 13, tabulka 8 a 9). Rozdíl byl výraznější i oproti rozdílům teplot u vzrostopných vrcholů stromů. Na lokalitě „AHL“ byly zaznamenány jak vyšší průměrné minimální, v průměru o 1,5 °C, tak i průměrné maximální, v průměru o 2 °C, denní teploty vzduchu. Amplitudy teplot vzduchu byly na obou lokalitách v podobném rozsahu. Nejteplejším měsícem ve vegetačním období 2011 byl na obou lokalitách, stejně jako v předchozím případě, srpen. Nejmenší rozdíly v průměrných měsíčních teplotách na sledovaných lokalitách byly zaznamenány v červenci. Měsícem s nejvyššími amplitudami teplot byl opět květen. Z rozdílu teplot mezi oběma lokalitami (obrázek 13) je patrné, že průměrné teploty vzduchu jsou na lokalitě „AHL“ v dlouhodobém průměru vždy výrazněji vyšší než v případě korun stromů na lokalitě „skupinky“.

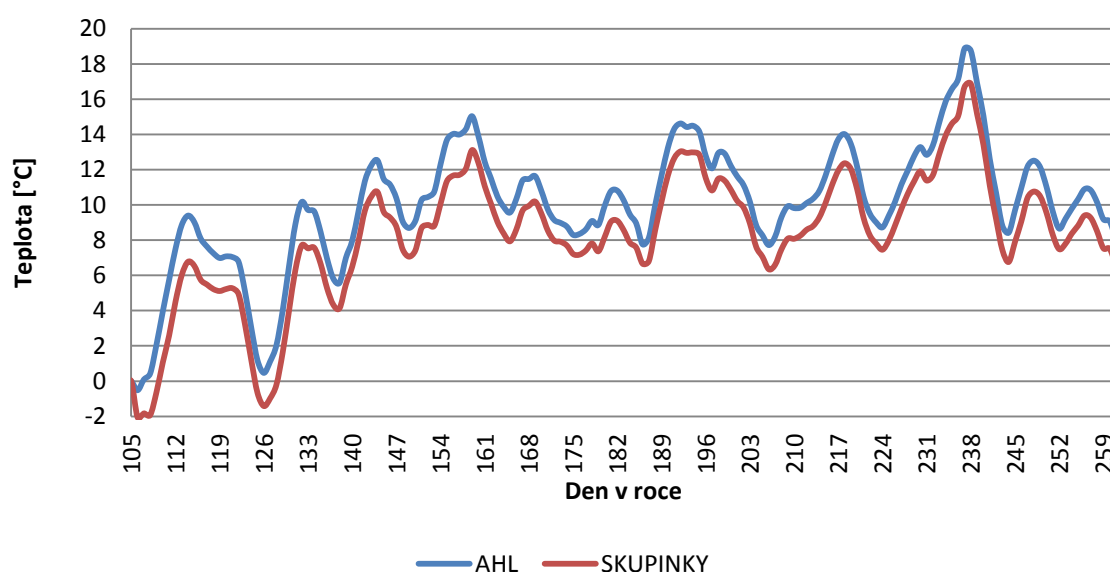
Tabulka 8: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	5,5	2,2	-4,4	9,9	18,2	7,7
Květen	7,8	3,7	-5,5	12,7	20,9	9,0
Červen	11,0	7,4	3,4	15,2	23,6	7,8
Červenec	10,7	7,7	2,7	14,3	24,0	6,5
Srpen	12,7	9,4	3,4	16,4	26,1	7,0

Září (do 20.)	10,0	7,0	3,3	13,1	22,4	6,1
---------------	------	-----	-----	------	------	-----

Tabulka 9: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	3,3	0,3	-6,0	6,6	15,2	6,3
Květen	5,9	2,1	-7,2	10,6	18,8	8,5
Červen	9,4	6,2	2,3	13,4	21,5	7,2
Červenec	9,3	6,4	1,6	12,7	22,6	6,3
Srpen	11,1	8,1	1,6	14,6	23,8	6,5
Září (do 20.)	8,4	5,7	2,2	11,5	20,0	5,8



Obrázek 13: Denní chod teplot při kmeni ve výšce dva metry nad povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2011.

## TEPLOTY PŮDY

Teplotní charakteristiky půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitě „AHL“ jsou uvedeny v tabulce 10, pro lokalitu „skupinky“ pak v tabulce 11. Srovnání chodu teplot při vzrostném vrcholu na obou lokalitách je zachycen na obrázku 14.

Průměrné teploty půdy byly na lokalitě „AHL“ ve vegetační sezóně 2011 v průměru o 1,2 °C vyšší, přičemž teplota půdy na lokalitě „skupinky“ byla těsně nad hodnotou 0 °C až do 17. 5. Lokalita „AHL“ byla celkově teplejší, v průměru za celé vegetační období, nicméně průměrné teploty července byly v podstatě shodné, přičemž přibližně v době okolo 19. 7. byly průměrné teploty půdy na lokalitě „skupinky“ vyšší než průměrné teploty půdy na lokalitě „AHL“ (obrázek 14). Průměrné minimální denní teploty byly na lokalitě „skupinky“ od července do 20. září vyšší nebo stejné jako na lokalitě



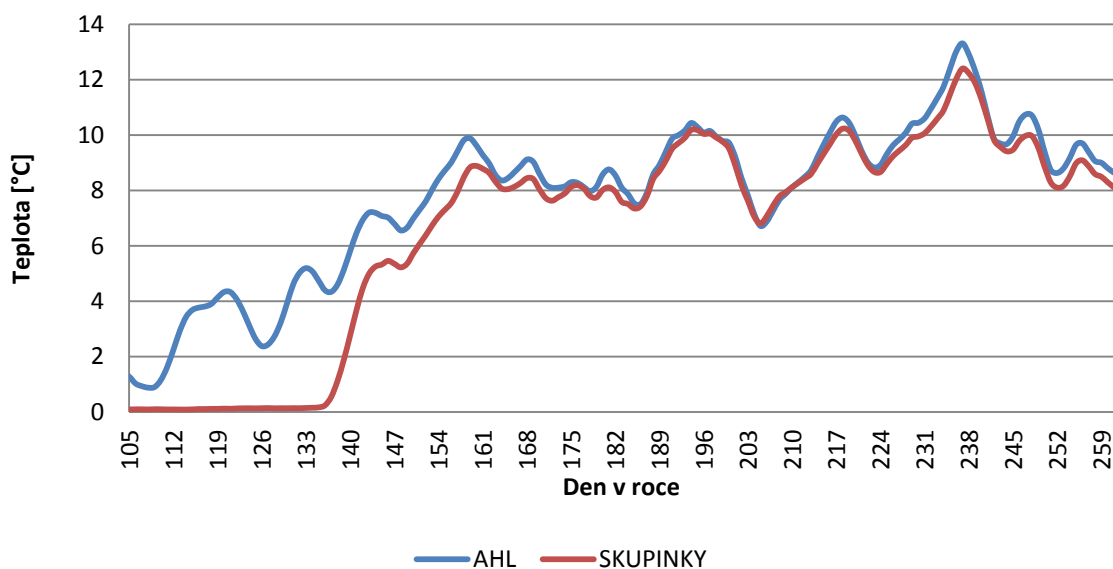
„AHL“. Průměrné maximální teploty však byly na lokalitě „skupinky“ nižší v průběhu celého vegetačního období. Průměrné amplitudy denních teplot půdy byly na lokalitě „skupinky“ zhruba o 1 °C nižší než na lokalitě „AHL“.

Tabulka 10: Teploty půdy na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	2,5	1,9	1,9	3,3	5,8	1,4
Květen	5,2	4,4	7,4	6,2	10,0	1,8
Červen	8,7	7,7	5,6	9,8	11,5	2,0
Červenec	8,6	7,7	4,7	9,6	12,3	1,8
Srpen	10,5	9,6	6,5	11,5	15,8	1,9
Září (do 20.)	9,4	8,2	6,0	10,4	13,0	2,2

Tabulka 11: Teploty půdy na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2011. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Duben (od 12.)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Květen	2,3	2,1	6,6	2,6	7,5	0,5
Červen	8,1	7,7	5,8	8,8	11,4	1,2
Červenec	8,5	7,9	4,7	9,2	11,4	1,3
Srpen	10,1	9,6	7,4	10,7	13,5	1,1
Září (do 20.)	8,8	8,2	5,8	9,4	11,5	1,2



Obrázek 14: Denní chod průměrných teplot půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období 2011.

### 5.1.2 TEPLITNÍ POMĚRY V ROCE 2012

#### TEPLoty VZDUCHU PŘI VZROSTNÉM VRCHOLU

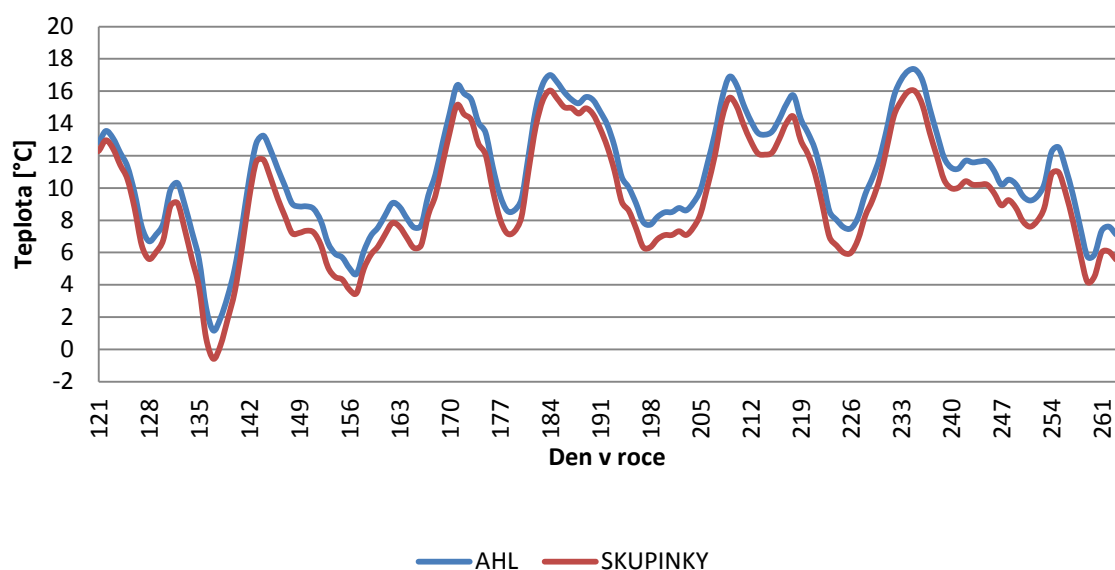
Průměrné teploty ve vzrostných vrcholech jedinců byly na lokalitě „skupinky“ v průměru o 1,2 °C nižší než na lokalitě „AHL“ (tabulka 12 a 13). Podobný rozdíl byl pozorován i v předchozím roce. Lokalita „AHL“ byla, oproti lokalitě „skupinky“, charakteristická výskytem vyšších průměrných minimálních i maximálních denních teplot. Na lokalitě „AHL“ byl v průměru nejteplejším měsícem srpen, druhým pak červenec, průměrné hodnoty však byly velice podobné, 12,6 resp. 12,5 °C. Na lokalitě „skupinky“ byl nejteplejším měsícem červenec, druhým s nepatrným odstupem srpen. Nejvyšší průměrné amplitudy teplot se vyskytovaly na lokalitě „AHL“ v květnu a v červnu, shodně 7,5 °C, na lokalitě „skupinky“ pak v červnu, 8,5 °C. Ve vzrostných vrcholech nenastalo období, kdy by se na lokalitě „skupinky“ vyskytovaly vyšší teploty nežli na lokalitě „AHL“ (obrázek 15).

*Tabulka 12: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.*

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	8,5	5,0	-3,4	13,2	21,0	7,5
Červen	10,1	7,2	-0,8	14,1	25,5	7,5
Červenec	12,5	9,2	3,0	16,5	25,2	6,9
Srpen	12,6	9,5	4,1	17,0	27,2	7,2
Září (do 20.)	8,9	6,0	0,8	12,5	21,0	6,8

*Tabulka 13: Teplotní charakteristiky vzduchu při vzrostném vrcholu jedinců na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.*

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	6,3	3,4	-4,9	12,6	22,2	8,1
Červen	9,8	5,7	-2,7	13,5	27,7	8,7
Červenec	11,1	7,7	1,7	15,7	25,0	7,6
Srpen	10,9	7,9	1,9	15,9	26,7	7,4
Září (do 20.)	7,3	4,4	-0,6	11,1	19,6	7,2



Obrázek 15: Denní chod teplot při vzrostných vrcholech jedinců na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2012.

#### TEPLOTY VZDUCHU PŘI KMENI

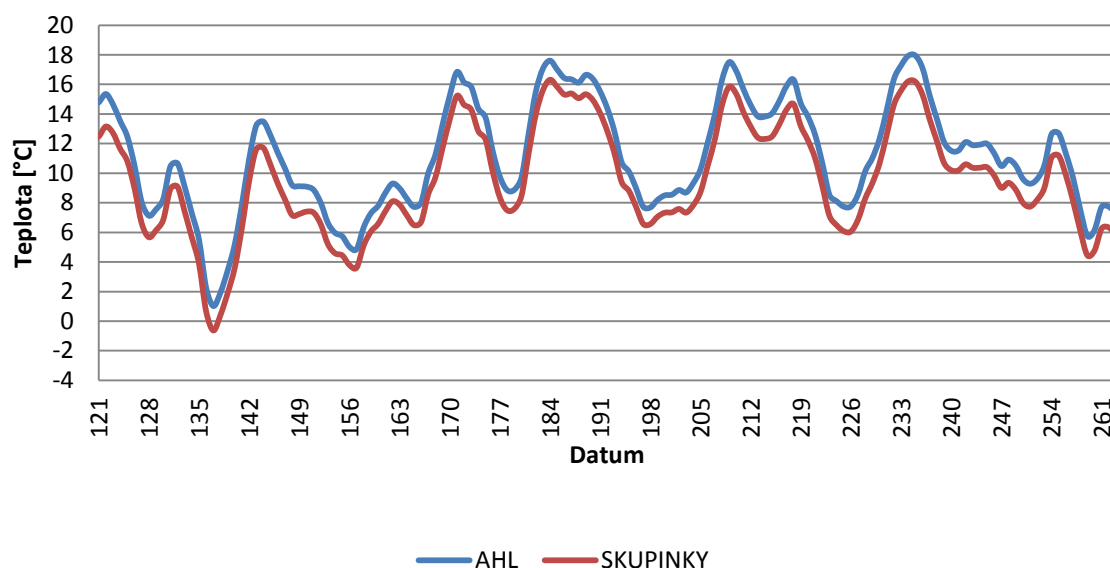
Ve vegetačním období 2012 byly, oproti vegetačnímu období 2011, vyrovnanější průměrné teploty vzduchu. Rozdíl mezi oběma lokalitami činil v průměru 1,3 °C a oproti roku 2012 se tak více blížil hodnotám teplot měřených ve vzrostných vrcholech sledovaných jedinců. Vyšších průměrných minimálních a maximálních denních hodnot teploty vzduchu bylo dosahováno vždy na lokalitě „AHL“. Nejteplejším měsícem na lokalitě „AHL“ byl srpen, druhým pak červenec, s teplotami 13, resp. 12,9 °C (tabulka 14 a 15), na výše položené lokalitě byl nejteplejším měsícem červenec. Nejvyšších amplitud teplot bylo dosaženo shodně v červnu. Průběh teplot vzduchu má, podobně jako v roce 2011, obdobný průběh jako průběh průměrných teplot vzduchu při vzrostných vrcholech jedinců (obrázek 16).

Tabulka 14: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	8,8	5,2	-3,7	13,4	22,3	7,6
Červen	10,4	7,3	-0,7	14,3	26,5	7,7
Červenec	12,9	9,3	3,1	16,9	25,7	7,1
Srpen	13,0	9,7	3,9	17,1	27,6	7,1
Září (do 20.)	9,1	6,2	0,7	12,7	21,1	7,1

Tabulka 15: Teploty vzduchu při kmeni na lokalitě "skupinky" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	6,4	3,8	-4,8	11,5	21,6	7,0
Červen	10,0	6,0	-2,3	12,9	25,4	7,7
Červenec	11,4	8,2	2,3	15,7	24,2	6,8
Srpen	11,0	8,3	2,8	15,2	24,9	6,6
Září (do 20.)	7,5	4,8	-0,3	10,8	19,0	6,4



Obrázek 16: Denní chod teplot při kmeni ve výšce dva metry nad povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období roku 2012.

#### TEPLOTNÍ POMĚRY PŮDY

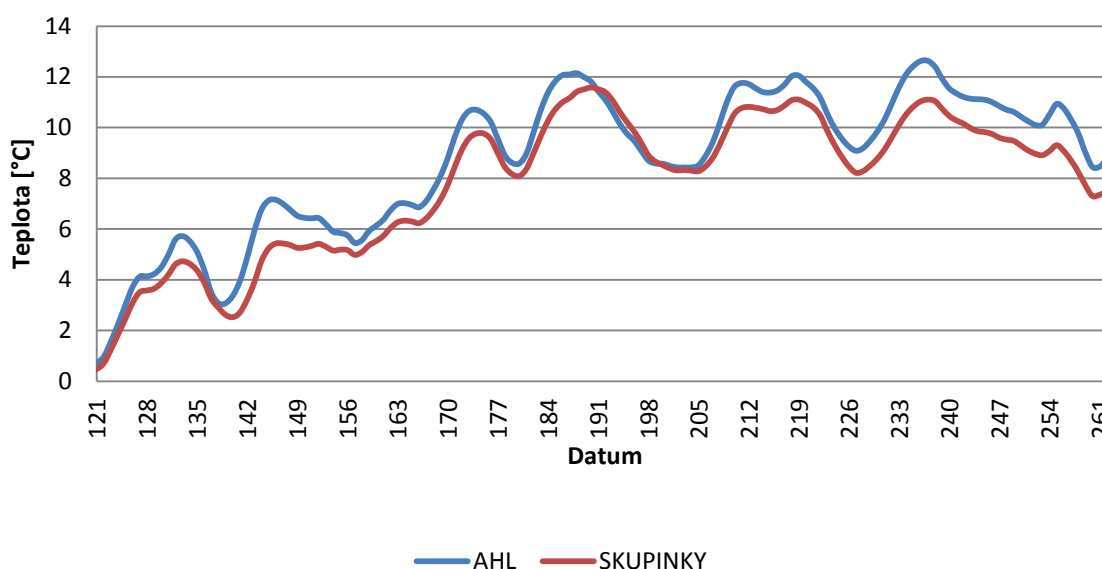
Půdní teploty byly v průměru za celé vegetační období vyšší na lokalitě „AHL“, a to o 0,7 °C. Podobně jako v červenci roku 2011 se i v červenci roku 2012 vyskytla krátká doba, konkrétně mezi 6. – 13. červencem, kdy bylo možné pozorovat vyšší teploty půdy na lokalitě „skupinky“ (obrázek 17). Jelikož jsou data pro rok 2012 dostupná až od prvního odběru vzorků, tj. 27.4, nebyla zaznamenána časová perioda, během které by byly zaznamenány teploty půdy blízké 0 °C ani na jedné z lokalit. Na lokalitě „skupinky“ byly zaznamenány podobně jako v předchozích případech nižší průměrné minimální i maximální teploty půdy a nižší průměrné amplitudy teplot, zhruba kolem 1 °C, oproti přibližně 1,4 °C na lokalitě „AHL“ (tabulka 16 a 17). Na lokalitě „AHL“ byl nejteplejším měsícem srpen, na lokalitě „skupinky“ byly pak dva shodně teplé měsíce, a to červenec a srpen. Nejvyšších amplitud v teplotě půdy bylo dosaženo v červnu na lokalitě „AHL“ a v květnu a v červnu na lokalitě „skupinky“.

Tabulka 16: Teploty půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitě "AHL" ve vegetačním období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	5,0	4,5	0,6	5,6	8,4	1,1
Červen	8,0	7,4	4,3	8,7	12,5	1,7
Červenec	10,4	9,7	7,2	11,3	13,6	1,3
Srpen	11,1	10,6	8,1	11,8	13,7	1,4
Září (do 20.)	9,8	9,1	6,9	10,5	13,0	1,5

Tabulka 17: Teploty půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitě "skupinky" v části vegetačního období 2012. Hodnoty jsou uvedeny v °C.

	Průměrná teplota	Průměrná minimální teplota	Absolutní minimální teplota	Průměrná maximální teplota	Absolutní maximální teplota	Průměrná amplituda teplot
Květen	4,3	3,6	0,6	4,6	6,4	1,1
Červen	7,6	6,7	4,1	7,9	10,9	1,1
Červenec	10,0	9,6	6,8	10,5	12,6	0,9
Srpen	10,0	9,7	7,7	10,6	12,0	0,9
Září (do 20.)	8,4	8,1	6,4	9,0	10,5	0,9



Obrázek 17: Denní chod průměrných teplot půdy v 10 cm pod povrchem na lokalitách "AHL" a "skupinky" v části vegetačního období 2012.

#### VLHKOSTNÍ POTENCIÁL PŮDY

Hodnoty naznačují, že lokalita „AHL“ je v průběhu vegetační sezóny, krom několika zaznamenaných period v průběhu května, celkově sušší, přičemž rozdíl je nejvíce patrný od srpna do září (tabulka 18 a 19). Vyšší vlhkost lokality „skupinky“ je patrně způsobena nižšími průměrnými teplotami vzduchu, viz výše, a nižší sklonitostí lokality, což snižuje možnost potenciální výparu a odtoku vody. Celkově nejsušším měsícem

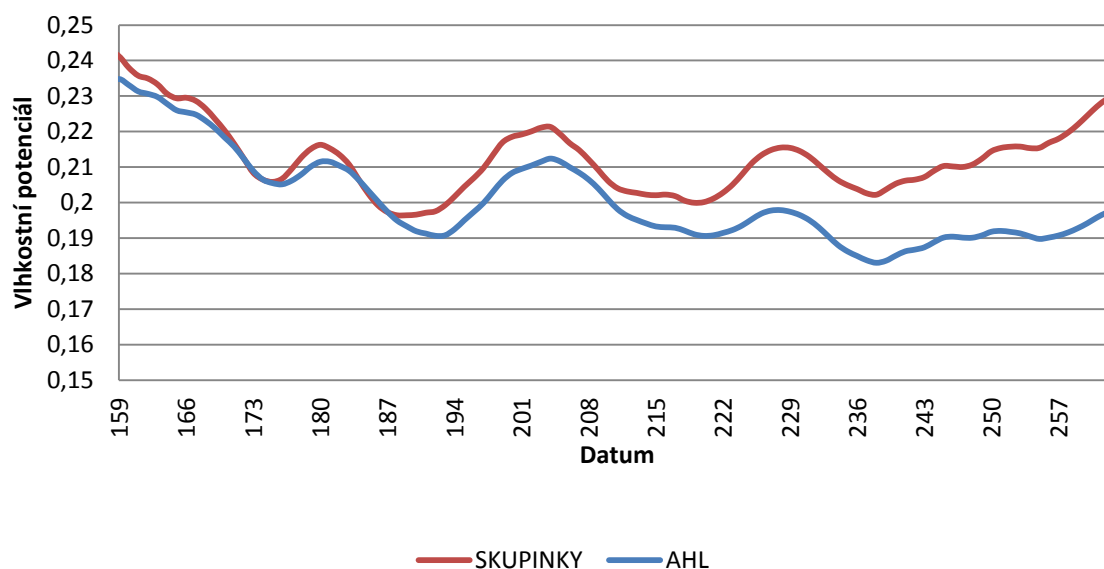
vegetačního období 2012 byl srpen, největší rozdíly v dostupné půdní vlhkosti na obou lokalitách byly zaznamenány v září (obrázek 18).

Tabulka 18: Vlhkostní potenciál půdy na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012.

	Průměrná dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Absolutní minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Absolutní minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná amplituda dostupné půdní vlhkost [bar]
Květen	0,217	0,143	0,136	0,339	0,512	0,196
Červen	0,220	0,200	0,161	0,250	0,275	0,050
Červenec	0,200	0,187	0,177	0,222	0,242	0,035
Srpen	0,191	0,176	0,163	0,208	0,215	0,032
Září (do 20.)	0,193	0,177	0,167	0,210	0,216	0,034

Tabulka 19: Vlhkostní potenciál půdy na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012.

	Průměrná dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Absolutní minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Absolutní minimální dostupná půdní vlhkost [bar]	Průměrná amplituda dostupné půdní vlhkost [bar]
Květen	0,222	0,205	0,196	0,231	0,252	0,027
Červen	0,220	0,203	0,180	0,244	0,275	0,040
Červenec	0,207	0,187	0,176	0,225	0,251	0,038
Srpen	0,207	0,188	0,178	0,226	0,241	0,038
Září (do 20.)	0,221	0,204	0,193	0,241	0,258	0,037



Obrázek 18: Denní chod dostupné půdní vlhkosti na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v části vegetačního období roku 2012.

### 5.1.3 SROVNÁNÍ TEPLOT PŘI VZROSTNÝCH VRCHOLECH, PŘI KMENI A PŮDY VE VEGETAČNÍCH OBDOBÍCH 2011 A 2012

Průměrné teploty při koruně na lokalitě „AHL“ byly, ve vegetačním období roku 2011, vždy o zhruba 0,2 – 0,4 °C nižší než teploty vzduchu při kmeni, naproti tomu na lokalitě „skupinky“ byly zaznamenány při koruně teploty vzduchu v průměru o 0,1 – 0,2 °C vyšší než teploty vzduchu při kmeni. Denní amplitudy teplot vzduchu zaznamenané při kmeni a při koruně dosahovaly na lokalitě „AHL“ přibližně stejných hodnot, naopak na lokalitě „skupinky“ byly amplitudy teplot vzduchu při koruně výrazně vyšší než amplitudy teplot vzduchu při kmeni. V roce 2011 byl nejteplejším měsícem srpen, druhým pak červen.

Ve vegetačním období 2012 byly průměrné teploty vzduchu při koruně na lokalitě „AHL“ o 0,2 – 0,4 °C nižší než teploty vzduchu při kmeni. Na lokalitě „skupinky“ byly rozdíly mezi teplotou vzduchu při koruně a teplotou vzduchu při kmeni nižší a činily zhruba 0,1 – 0,3 °C. Nejvyšší rozdíly mezi teplotami vzduchu při koruně a teplotami vzduchu při kmeni byly zaznamenány na obou lokalitách ve vegetačním období 2012 v červenci. Denní amplitudy teplot vzduchu zaznamenané při kmeni a při koruně, dosahovaly ve stejném období na lokalitě „AHL“ podobných hodnot, naopak na lokalitě „skupinky“ byly amplitudy teplot vzduchu při koruně vyšší. Nejteplejším měsícem byl v roce 2012 na lokalitě „AHL“ srpen, druhým pak červenec, na lokalitě „skupinky“ bylo pořadí dvou nejteplejších měsíců obrácené, tzn., nejteplejším měsícem byl červenec, druhým pak srpen. Průběh teplot vzduchu byl ve vegetační sezóně 2012 na sledovaných lokalitách pro obě měřené veličiny podobný.

Teploty půdy byly ve vegetačním období 2011 na lokalitě „AHL“ v průměru o 2 – 3 °C nižší než teploty vzduchu, výjimkou je září, kdy rozdíl mezi těmito teplotami činil pouze 0,5 °C. Na lokalitě „skupinky“ bylo v průběhu stejného vegetačního období možné rozlišit celkově tři období rozdílných teplot mezi teplotou vzduchu a půdy: (i) duben a květen, kdy byly průměrné teploty půdy o zhruba 3,5 °C nižší než teploty vzduchu; (ii) období od června do srpna, kdy teploty vzduchu byly o zhruba 1 – 1,5 °C vyšší než teploty půdy; (iii) září, kdy teploty půdy byly v průměru zhruba o 0,5 °C vyšší než teploty vzduchu. Nejteplejším měsícem, dle teplot půdy, byl ve vegetačním období 2011 srpen, což se shoduje s maximy teplot vzduchu, druhým nejteplejším měsícem bylo září.

Na lokalitě „AHL“ bylo možné najít ve vegetačním období 2012 tři období s podobnými teplotními rozdíly mezi teplotami vzduchu a půdy, přičemž: (i) v květnu byl rozdíl mezi teplotou půdy a vzduchu zhruba 3,8 °C; (ii) v červnu, červenci a srpnu byly teploty vzduchu vyšší o zhruba 1,9 – 2,5 °C; a (iii) v září byly o zhruba 0,7 °C vyšší průměrné teploty půdy. Na lokalitě „skupinky“ bylo možné ve vegetačním období 2012 pozorovat rovněž tři rozdílná období: (i) květen a červen, kdy průměrné denní teploty vzduchu byly vyšší o 2,1 – 2,4 °C; (ii) červenec a srpen, kdy teploty půdy byly nižší o 1-1,4 °C; a (iii) září, kdy průměrné teploty půdy byly zhruba o 1 °C vyšší než průměrné teploty vzduchu.

Průměrné teploty půdy vykazovaly ze všech sledovaných proměnných nejnižší rozdíly, nicméně z porovnání obrázků 14 a 17 je patrné, že teplotní poměry půdy nebyly ve vegetačním období roku 2011 tak vyrovnané jako ve vegetačním období roku 2012. Rozdíl teplot je patrný zejména na konci srpna a v průběhu září, přičemž teploty půdy na lokalitě „AHL“ byly v září roku 2012 v průměru o 0,4 °C vyšší a naopak teploty na lokalitě „skupinky“ v porovnání stejných časových úseků naopak o 0,2 °C nižší. Průběh teplot půdy v obou sledovaných vegetačních sezónách, s určitým zpožděním a nižší amplitudou, kopíroval průběh teplot vzduchu.

Celkově teplejším vegetačním obdobím bylo vegetační období roku 2012 (tabulka 20).

*Tabulka 20: Průměrné teploty vybraných veličin ve vegetačním období roku let 2011 a 2012 na lokalitách "AHL" a "skupinky". Hodnoty jsou uvedeny ve °C.*

	Průměrná teplota vzduchu		Průměrná teplota půdy	
	AHL	skupinky	AHL	skupinky
2011	10,0	8,3	7,5	6,3
2012	11,1	9,6	8,6	7,8

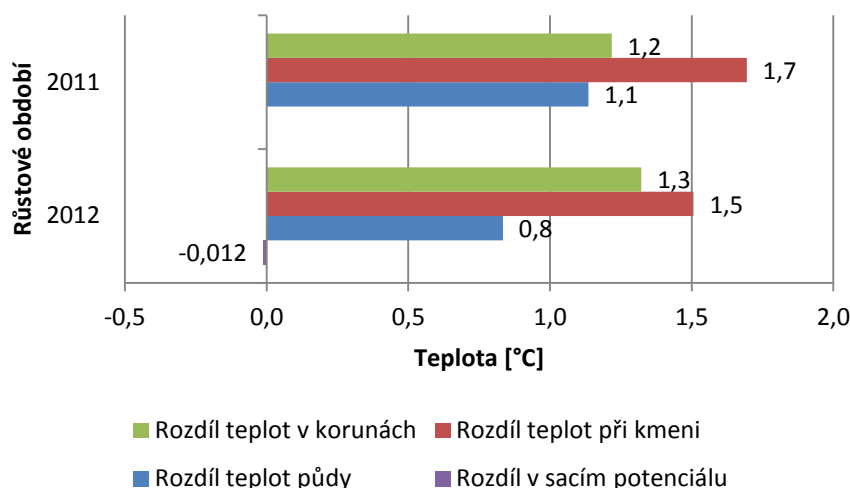
#### 5.1.4 TEPLOTNÍ GRADIENT MEZI LOKALITAMI „AHL“ A „SKUPINKY“

Vertikální teplotní gradient teplot vzduchu při kmeni a teplot půdy byl výraznější v roce 2011. Naopak vertikální teplotní gradient teplot vzduchu při korunách byl výraznější v roce 2012 (obrázek 20 a 21).

Průměrný teplotní gradient mezi oběma lokalitami činil v případě půdních teplot v růstovém období vegetační sezóny 2011 1,1 °C a v růstovém období vegetační sezóny 2012 0,8 °C. Rozdíl v teplotách vzduchu mezi oběma lokalitami byl celkově výraznější

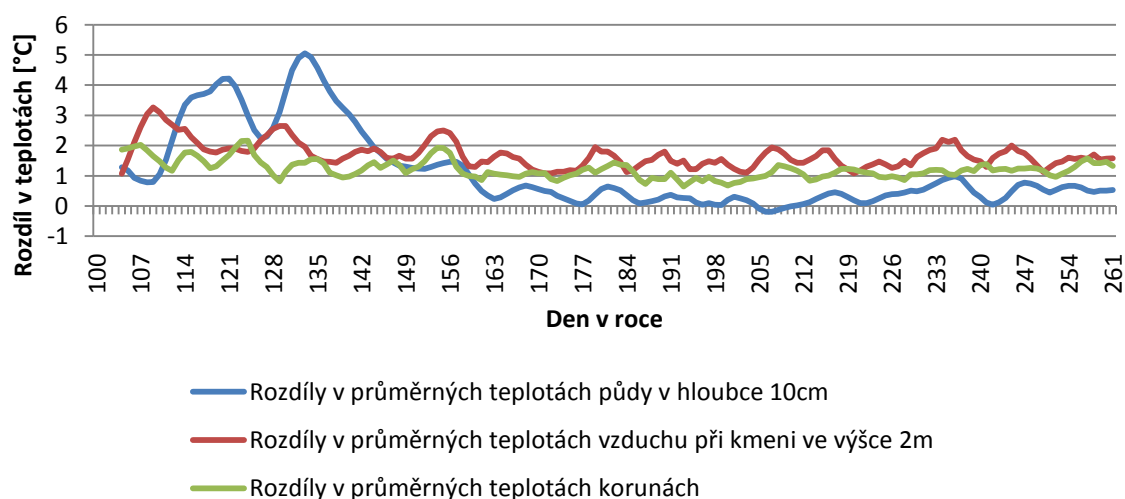


v růstovém období roku 2011, kdy činil 1,7 °C, zatímco v růstovém období roku 2012 1,5 °C. Teplotní gradient vzduchu v korunách stromů mezi oběma lokalitami, oproti ostatním sledovaným charakteristikám vyšší v růstovém období roku 2012, kdy jeho průměr činil 1,3 °C, než v roce 2011, kdy byla průměrná hodnota gradientu 1,2 °C.

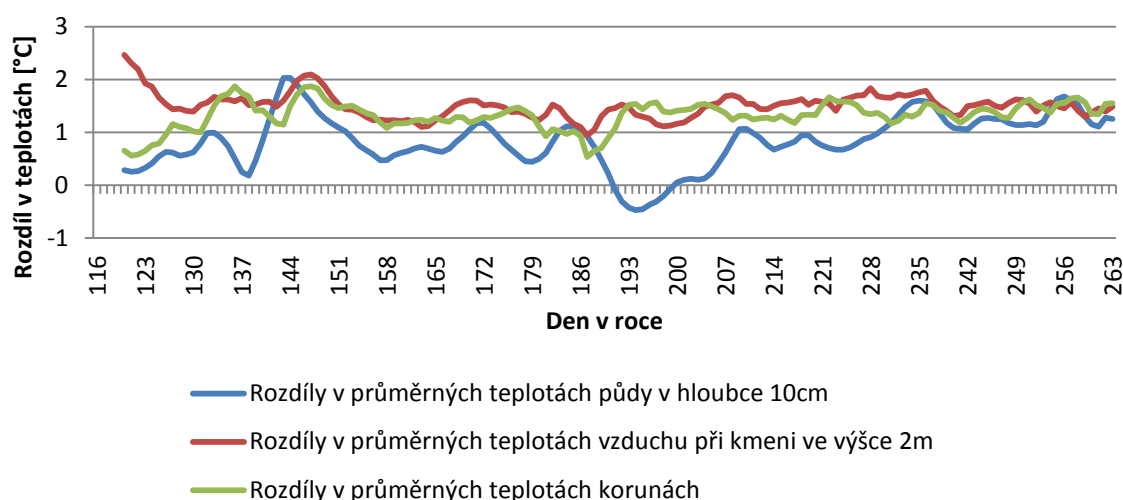


Obrázek 19: Teplotní gradient mezi lokalitami "AHL" a "skupinky" v průběhu vegetačních období roku 2011 a 2012.

Celkově vyšší rozkolísanost v chodu teplotního gradientu je charakteristická pro teplotní poměry půdy, kdy na počátku a na konci vegetačního období je půda teplejší na lokalitě „AHL“, ale v průběhu vegetačního období dojde k vyrovnání rozdílů, přičemž v průběhu srpna jsou teploty půdy na lokalitě „skupinky“ vyšší.



Obrázek 20: Chod teplotních gradientů půdy, vzduchu při kmeni a vzduchu v korunách stromů ve vegetačním období roku 2011.



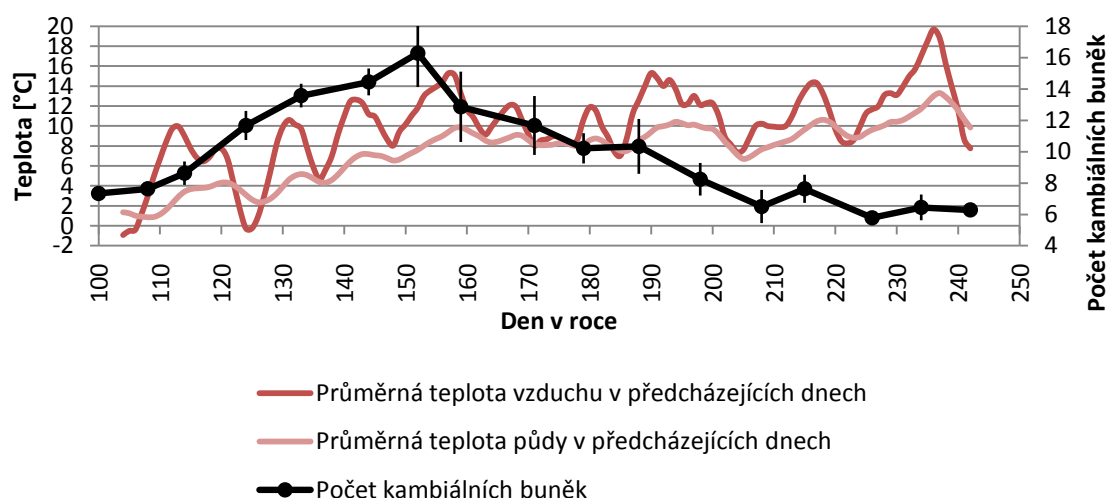
Obrázek 21: Chod teplotních gradientů půdy, vzduchu při kmeni a vzduchu v korunách stromů ve vegetačním období roku 2012.

## 5.2 XYLOGENEZE

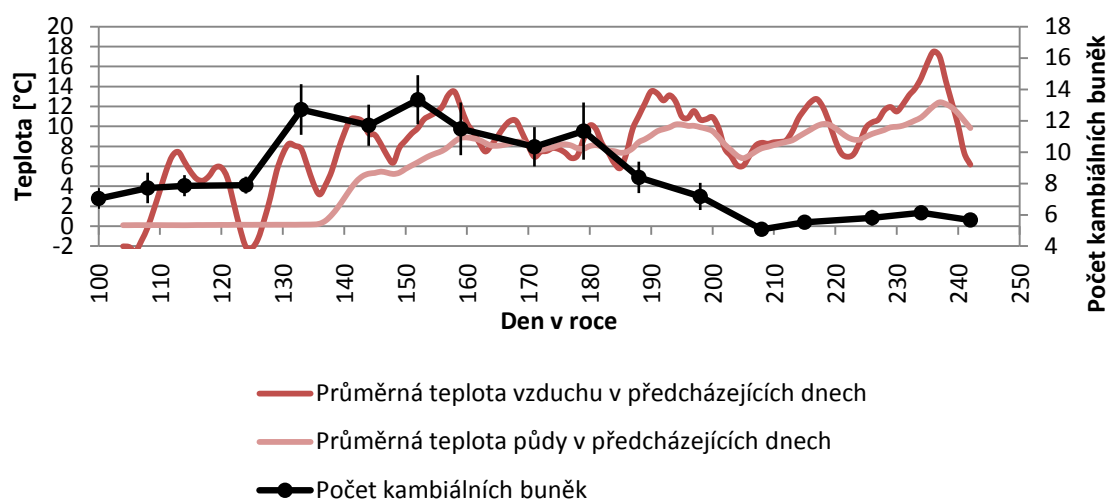
### 5.2.1 RŮSTOVÉ OBDOBÍ ROKU 2011

#### KAMBIÁLNÍ AKTIVITA

Období vrcholu kambiální aktivity trvalo celkově delší dobu na lokalitě „AHL“. Celková délka kambiální aktivity byla delší na lokalitě „AHL“, zejména díky jejímu dřívějšímu začátku, neboť kambiální aktivita byla na obou lokalitách ukončena ve stejném termínu (tabulka 21). Pro lokalitu „skupinky“ jsou charakteristické nízké teploty v datech počátku a počátku vrcholu kambiální aktivity, ve srovnání s teplotami, jež se vyskytovaly v datech počátku stejných fází na lokalitě „AHL“ (viz obrázek 22 a 23).



Obrázek 22: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období roku 2011. Chybové úsečky reprezentují směrodatnou odchylku.



Obrázek 23: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období roku 2011. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.

Tabulka 21: Vymezení počátku, konce a vrcholu kambiální aktivity, fáze zvětšování, fáze druhotného tloustnutí a datum prvního záznamu dospělých buněk v roce 2011.

		Začátek fáze	Začátek vrcholu fáze	Konec vrcholu fáze	Konec fáze	Délka trvání vrcholu fáze	Délka fáze
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	Datum	25.4	5.5	21.6	8.7	47	74
	Den v roce	114	124	171	188		
Kambiální aktivita na lokalitě "skupinky"	Datum	14.5	14.5	9.6	8.7	26	55
	Den v roce	133	133	159	188		
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	Datum	25.4	2.6	8.7	15.8	36	112
	Den v roce	114	152	188	226		
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	Datum	25.4	2.6	8.7	15.8	36	112
	Den v roce	114	152	188	226		
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	Datum	2.6	21.6	8.7	23.8	17	82
	Den v roce	152	171	188	234		
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	Datum	2.6	21.6	28.7	15.8	37	74
	Den v roce	152	171	208	226		
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	Datum	21.6					
	Den v roce	171					
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	Datum	21.6					
	Den v roce	171					

Jediným statisticky významným vztahem mezi výškou či věkem sledovaných jedinců a jednotlivými fázemi kambiální aktivity, byl ve vegetačním období roku 2011

pozorován na lokalitě „skupinky“ mezi začátkem vrcholu kambiální aktivity a výškou sledovaných jedinců (tabulka 22). Negativní korelace o velikosti 0,69 značí zpoždování nástupu vrcholu kambiální aktivity s klesající výškou stromu.

*Tabulka 22: Korelační koeficienty mezi daty počátku kambiální aktivity, vrcholu kambiální aktivity, konce vrcholu kambiální aktivity, konce kambiální aktivity a výškou a věkem jedinců na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2011, tučně jsou vyznačeny statisticky významné vztahy.*

		Začátek kambiální aktivity	Začátek vrcholu kambiální aktivity	Konec vrcholu kambiální aktivity	Konec kambiální aktivity	Délka vrcholu kambiální aktivity	Délka kambiální aktivity	Poměr délky vrcholu kambiální aktivity k délce kambiální
AHL	Výška jedinců	-0,01	-0,03	-0,06	-0,06	-0,07	-0,03	-0,05
	Věk jedinců	-0,07	0,39	-0,12	0,10	-0,36	0,12	0,45
Skupinky	Výška jedinců	0,15	<b>-0,68</b>	-0,29	0,39	0,05	0,25	0,21
	Věk jedinců	0,37	-0,31	-0,28	0,28	-0,12	-0,18	0,05

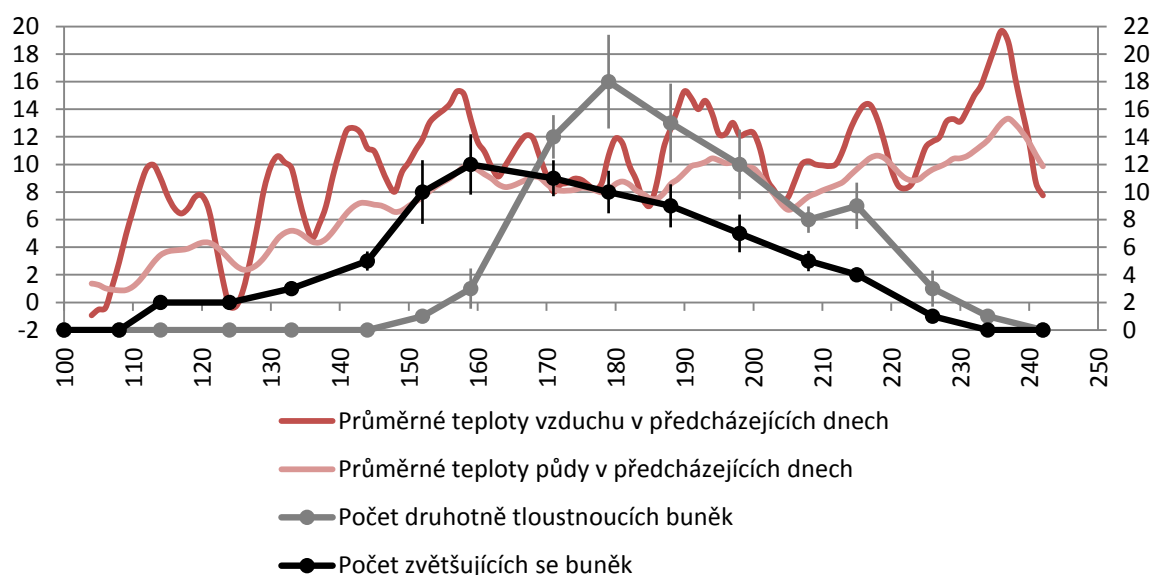
## TVORBA XYLÉMU

Fáze zvětšování buněk nastala na obou lokalitách ve stejných termínech (25.4), vrchol této fáze byl pozorován rovněž ve stejném termínu, který nastal o týden později (2.6). Zatímco konec vrcholu fáze zvětšování buněk nastal na obou lokalitách na počátku července (8.7), tak konec fáze zvětšování buněk trval do poloviny srpna (15.8). Celkově fáze zvětšování buněk trvala přibližně 112 dní, vrchol této fáze trval přibližně 36 dní. Poměr délky trvání vrcholu fáze zvětšování k celkové délce této fáze byl tedy přibližně 1:3 (tabulka 21).

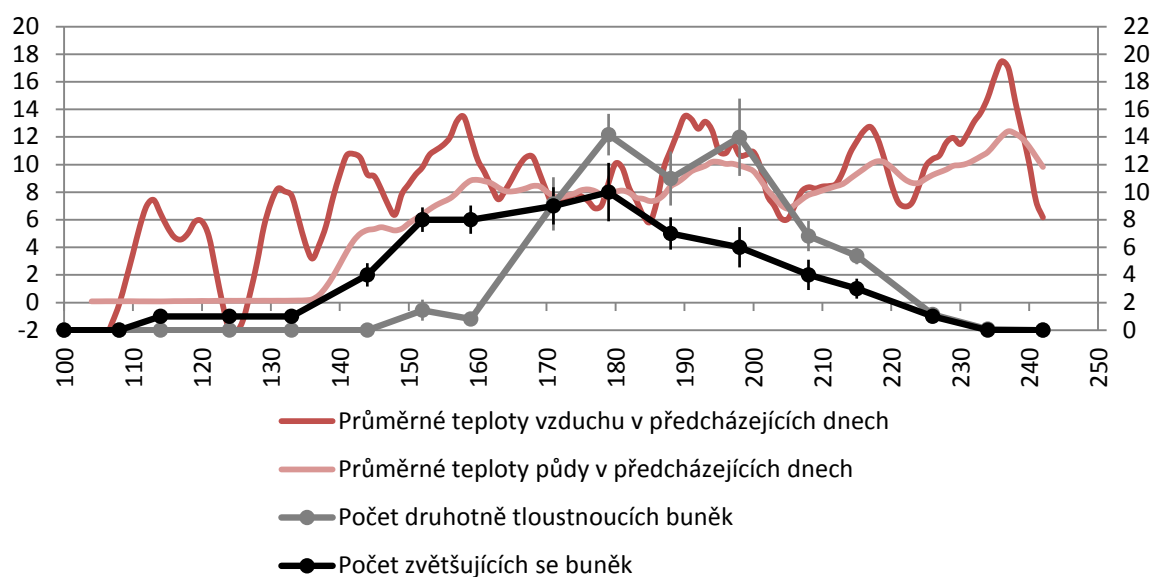
Počátek fáze druhotného tloustnutí byl pozorován na obou lokalitách ve stejném termínu (2.6). Počátek vrcholu této fáze nastal na obou lokalitách rovněž ve stejném termínu (21.6). Vrchol fáze druhotné tloustnutí skončil na lokalitě „AHL“ na počátku července (8.7), zatímco na lokalitě „skupinky“ trval až do konce tohoto měsíce (tj. do 28.7). Zatímco na lokalitě „skupinky“ byla fáze druhotného tloustnutí ukončena v polovině srpna (15.8), tak na lokalitě „AHL“ trvala přibližně o týden déle (tj. do 23.8). Celkově tedy trvala fáze druhotného tloustnutí na lokalitě „AHL“ 82 dní a na lokalitě „skupinky“ 74 dní. Vrchol fáze druhotného tloustnutí trval na lokalitě „AHL“ 17 dní a na lokalitě „skupinky“

37 dní. Poměr délky trvání vrcholu fáze druhotného tloustnutí k celkové délce této fáze byl na lokalitě „AHL“ přibližně 1:5 a na lokalitě „skupinky“ přibližně 1:2 (tabulka 21).

Zatímco na lokalitě „AHL“ začalo dělení buněk dříve a s vyšší intenzitou, což v konečném důsledku vedlo k vyššímu týdennímu přírůstu buněk na počátku růstového období, tak na lokalitě „skupinky“ bylo možné pozorovat vyšší hodnoty zvětšujících se buněk se zpožděním oproti stavu na níže položené lokalitě (obrázek 32 a 33). Nejvyšší týdenní přírůsty druhotně tloustnoucích buněk nastaly na lokalitě „AHL“ koncem června, respektive na začátku července, na lokalitě „skupinky“. Nejvyšší přírůsty dospělých buněk nastaly na lokalitě „AHL“ i na lokalitě „skupinky“ shodně v polovině července.

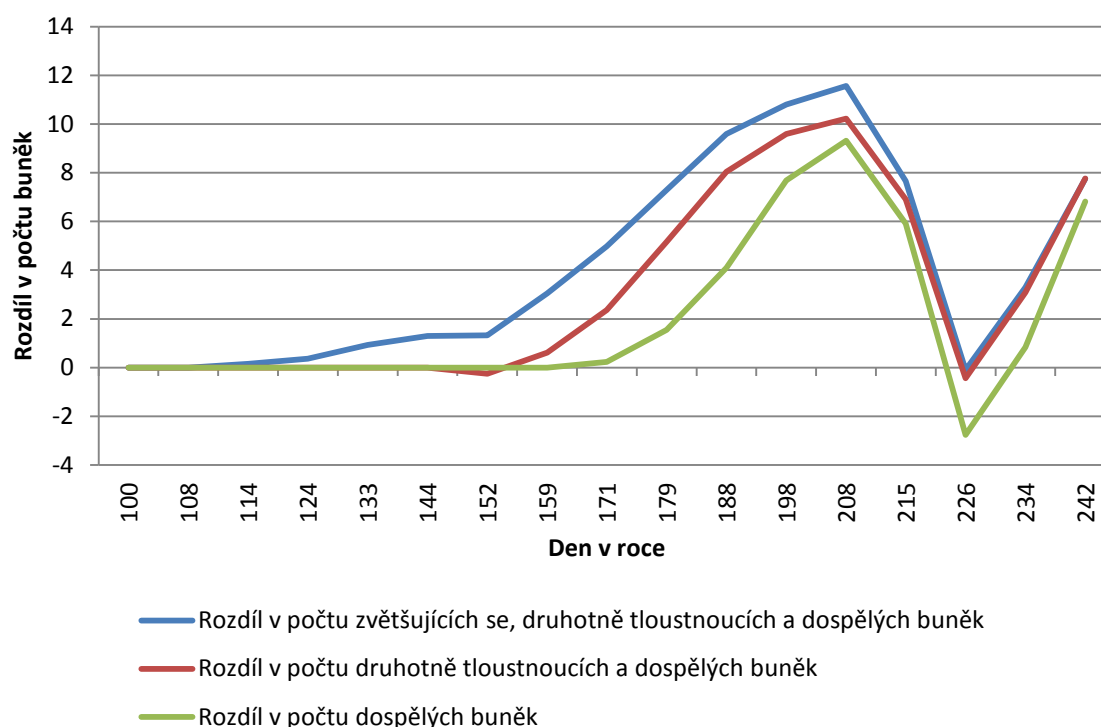


Obrázek 24: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu kladné, resp. záporné, směrodatné odchylky.



Obrázek 25: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu kladné, resp. záporné, směrodatné odchylky.

Z počátku růstového období 2011 je patrný nárůst rozdílu v počtu buněk ve fázích zvětšování, druhotného tloustnutí a dospělosti ve prospěch lokality „AHL“ (obrázek 26). Nejvyššího rozdílu v počtu buněk ve fázích zvětšování, druhotného tloustnutí a dospělosti, bylo dosaženo na konci července (28. 7), přičemž rozdíl se pohyboval od 9 (rozdíl v dospělých buňkách) do 12 (rozdíl v buňkách všech pozorovaných fází) buněk. Výsledný rozdíl v počtu dospělých buněk za celé vegetační období roku 2011 se pohyboval kolem osmi buněk.



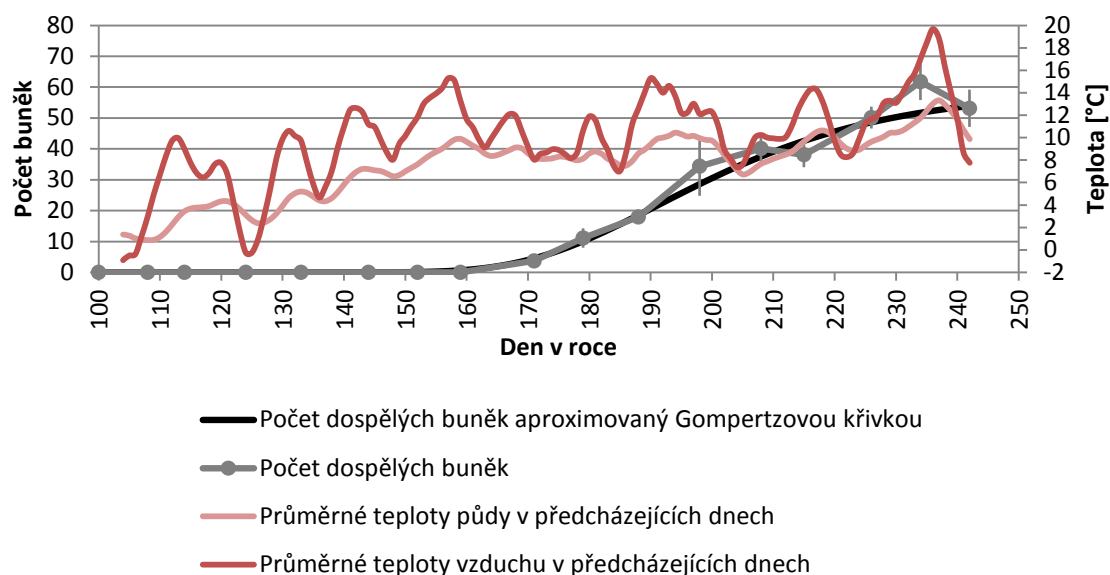
Obrázek 26: Rozdíl v týdenním přírůstu buněk, zhlazený třídobovým klouzavým průměrem, mezi lokalitami „AHL“ a „skupinky“ ve vegetačním období roku 2011.

Tabulka 23: parametry pro výpočet Gompertzovy funkce pro všechny sledované jedince na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2011.

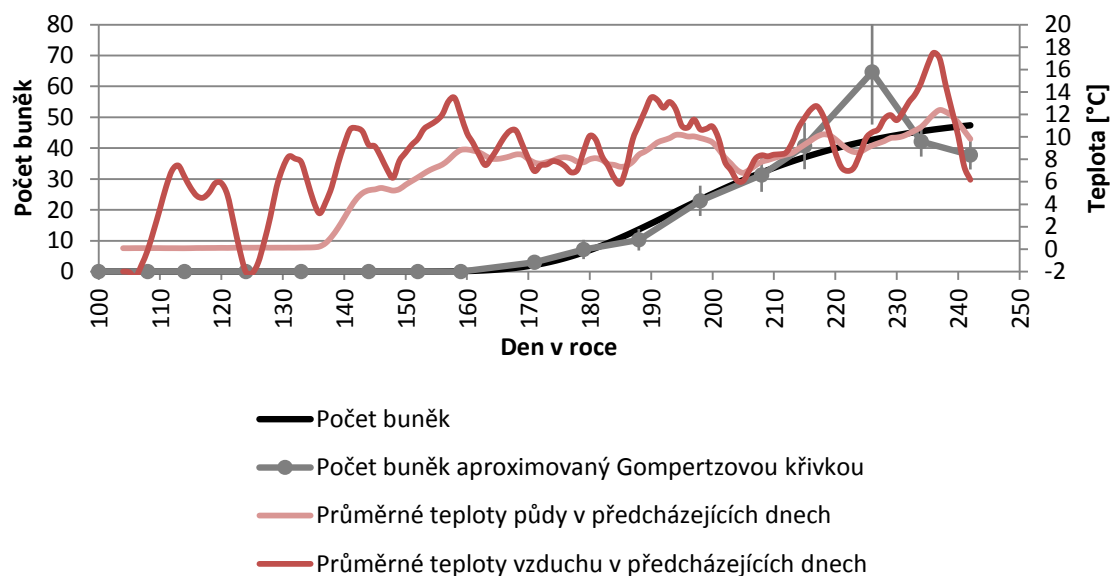
	Parametry Gompertzovy funkce pro jednotlivé fáze dělení buněk na lokalitě „AHL“			Parametry Gompertzovy funkce pro jednotlivé fáze dělení buněk na lokalitě „skupinky“		
	Zvětšující se, druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Dospělé buňky	Zvětšující se, druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Dospělé buňky
A	59,2			51,4		
$\beta$	8,25	9,8	8,93	8,13	10	10
$\kappa$	0,0555	0,05611	0,04671	0,04852	0,05594	0,0517
$R^2$	0,988	0,988	0,983	0,913	0,921	0,911

Počty buněk v jednotlivých fázích xylogeneze byly zobrazovány též pomocí Gompertzovy funkce (obrázek 35 a 36). Parametry pro její výpočet jsou uvedeny v tabulce 23. Primární data, které Gompertzova funkce aproximuje, jsou součástí přílohy 1 a 2.

Po aplikaci Gompertzovy funkce je zejména patrný v průměru nižší přírůst jedinců na lokalitě „skupinky“. Růst průměrného jedince začíná na lokalitě „skupinky“ později, a s nižší intenzitou než na lokalitě „AHL“, a končí zhruba o týden dříve, což dokazuje i doba, po kterou byla pozorována fáze druhotného tloustnutí.



Obrázek 27: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „AHL“ růstovém období roku 2011.



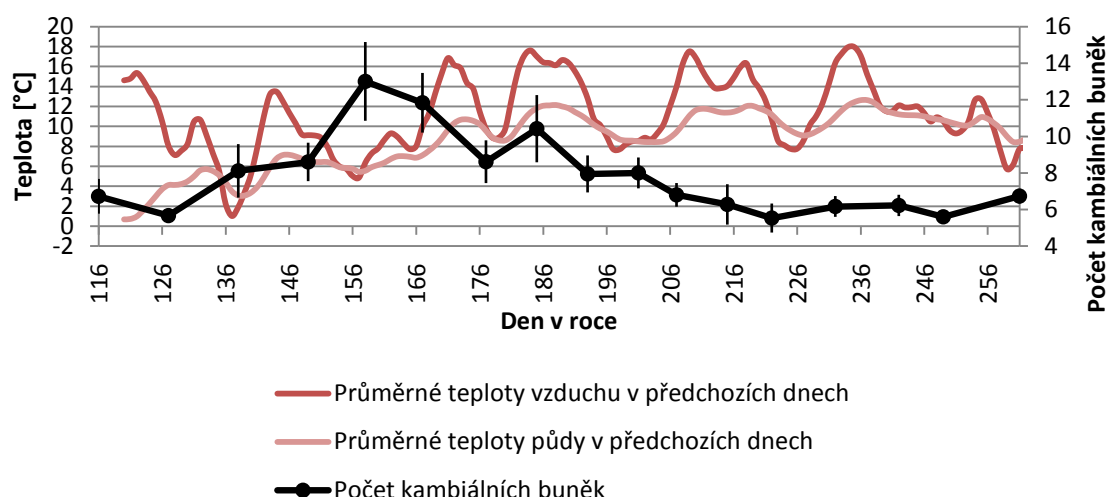
Obrázek 28: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „skupinky“ růstovém období roku 2011.

## 5.2.2 RŮSTOVÉ OBDOBÍ ROKU 2012

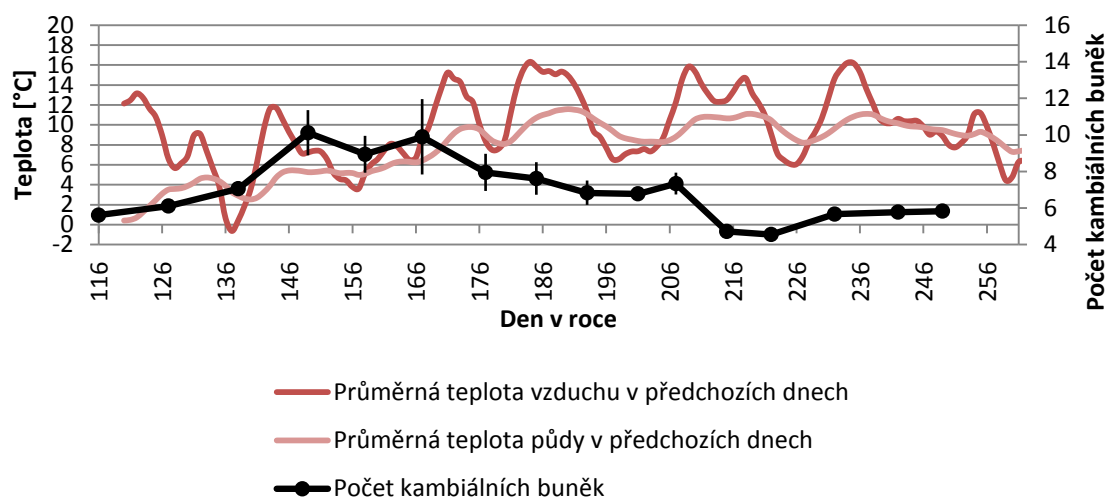
### KAMBIÁLNÍ AKTIVITA

Období kambiální aktivity, včetně období vrcholu kambiální aktivity, začaly na obou lokalitách ve stejných termínech a trvaly přibližně stejně dlouhou dobu (viz tabulka 24).





Obrázek 29: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období roku 2012. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.



Obrázek 30: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k pozorovaným počtům kambiálních buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období roku 2012. Chybové úseční reprezentují směrodatnou odchylku.

Tabulka 24: Vymezení počátku, konce a vrcholu kambiální aktivity, fáze zvětšování, fáze druhotného tloustnutí a datum prvního záznamu dospělých buněk v roce 2012.

		Začátek fáze	Začátek vrcholu fáze	Konec vrcholu fáze	Konec kambiální fáze	Délka trvání vrcholu fáze	Délka fáze
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	Datum	18.5	29.5	4.7	26.7	36	69
	Den v roce	138	149	185	207		
Kambiální aktivita na lokalitě	Datum	18.5	29.5	4.7	26.7	36	69

"skupinky"	Den v roce	138	149	185	207		
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	Datum	18.5	26.6	26.7	30.8	30	126
	Den v roce	127	177	207	242		
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	Datum	18.5	26.6	26.7	30.8	30	104
	Den v roce	138	177	207	242		
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	Datum	16.6	12.7	3.8	6.9	22	82
	Den v roce	167	193	215	249		
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	Datum	7.6	12.7	10.8	30.8	29	91
	Den v roce	158	193	222	242		
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	Datum	26.6					
	Den v roce	177					
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	Datum	26.6					
	Den v roce	177					

V roce 2012 byl pozorován mezi sledovanými jedinci signifikantní vztah pouze na lokalitě „skupinky“, a to mezi věkem jedinců a délkou kambiální aktivity (tabulka 25). Korelace dosáhla hodnoty -0,82, což značí, že s rostoucí výškou stromu docházelo k prodlužování období kambiální aktivity.

*Tabulka 25: Korelační koeficienty mezi charakteristikami kambiální aktivity a výškou a věkem jedinců na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2012, tučně jsou vyznačeny statisticky významné vztahy.*

		Začátek kambiální aktivity	Začátek vrcholu kambiální aktivity	Konec vrcholu kambiální aktivity	Konec kambiální aktivity	Délka vrcholu kambiální aktivity	Délka kambiální aktivity	Poměr délky vrcholu kambiální aktivity k délce kambiální
AHL	Výška jedinců	0,66	0,25	0,61	0,07	0,22	-0,54	-0,61
	Věk jedinců	0,27	0,05	0,45	0,11	0,25	-0,15	-0,40
Skupinky	Výška jedinců	-0,63	0,52	0,28	0,45	-0,29	0,68	0,38
	Věk jedinců	-0,08	0,07	-0,36	0,50	<b>-0,82</b>	0,40	0,82

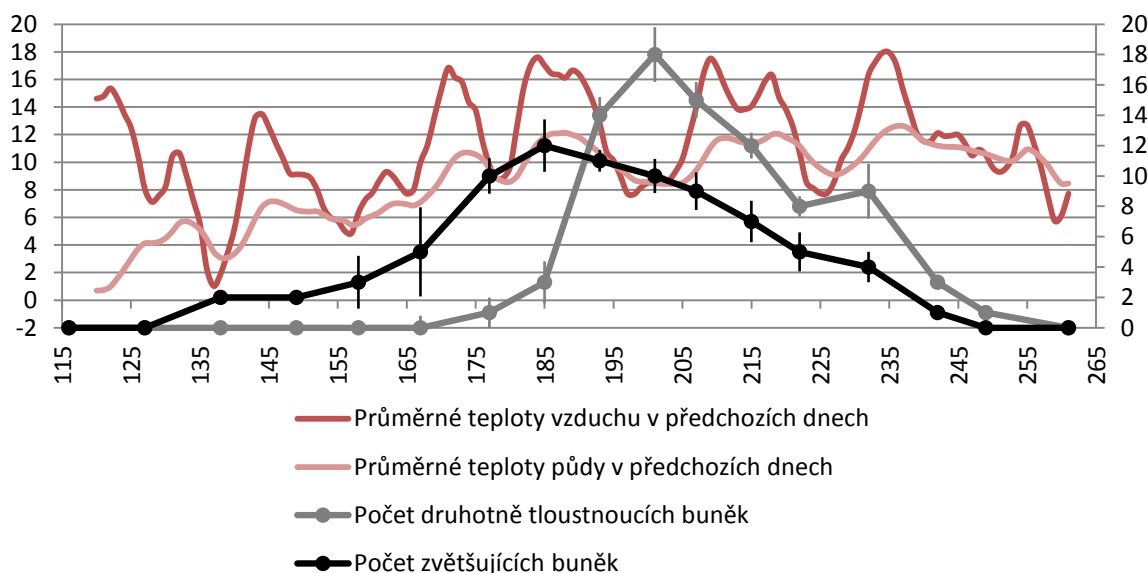
## TVORBA XYLÉMU

Fáze zvětšování buněk začala dříve na lokalitě „AHL“ (7. 5.) než na lokalitě „skupinky“ (18. 5.). Vrcholy této fáze nastaly na obou lokalitách ve stejný termín (26. 6.). Konec fáze zvětšování buněk nastal na konci srpna (žádné buňky tohoto typu nebyly pozorovány 30. 8.). Celková délka fáze zvětšování byla tedy delší na lokalitě „AHL“ (celkem ca 115 dní), kde byl poměr mezi délkou této fáze a jejím vrcholem přibližně 1:4,

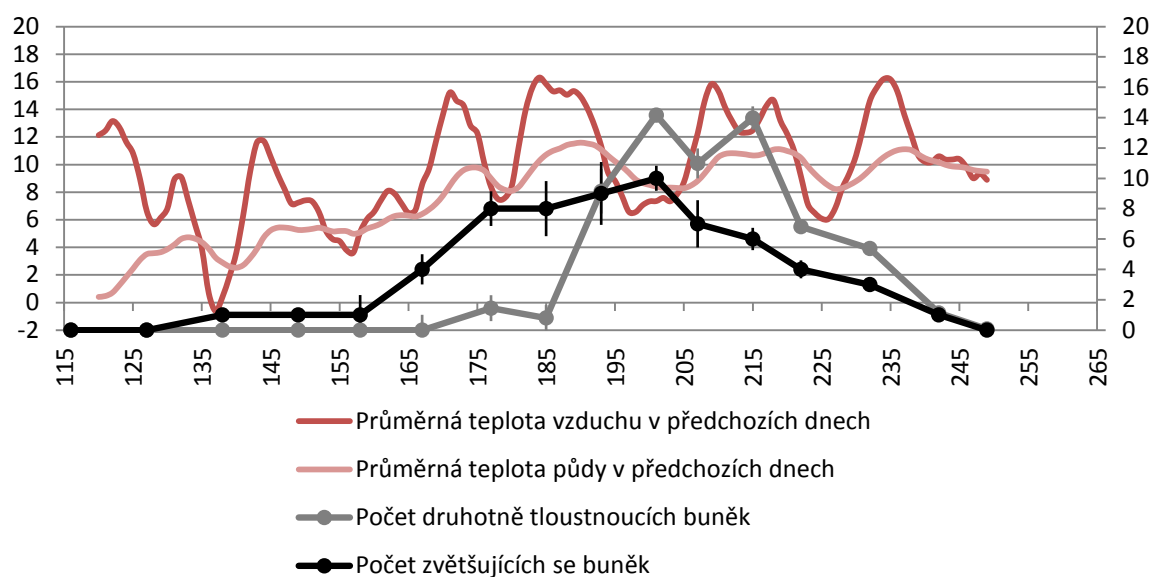
než na lokalitě „skupinky“ (přibližně 104 dní), kde poměr mezi délkou fáze a vrcholem fáze byl přibližně 1:3,5.

Fáze druhotného tloustnutí nastala na lokalitě „AHL“ později než na lokalitě „skupinky“ (16. 6. resp. 7. 6.), vrchol této fáze nastal však na obou lokalitách shodně (12. 7.). Fáze druhotného tloustnutí, včetně jejího vrcholu, trvala delší dobu na lokalitě „skupinky“, přibližně 91 resp. 28 dní, při poměru mezi samotnou fází a jejím vrcholem přibližně 1:3. Na lokalitě „AHL“ trvala fáze druhotného tloustnutí 82 dní a její vrchol zhruba 22 dní, poměr byl tedy přibližně 1:4.

Růstové období roku 2012 je charakteristické prudkým nárůstem hodnot týdenních přírůstů buněk xylému na začátku růstového období a prudkým poklesem přírůstů v druhé polovině vegetačního období na lokalitě „skupinky“ oproti lokalitě „AHL“, kde je nárůst i pokles hodnot týdenních přírůstů pozvolnější (obrázek 47 a 48). Nejvyšší přírůsty nastaly na lokalitě „skupinky“ koncem června, na lokalitě „AHL“ přibližně o týden později. Vrchol týdenních přírůstů druhotně tloustnoucích buněk nastal na lokalitě „skupinky“ na počátku července, zatímco na lokalitě „AHL“ pak přibližně v polovině července. Nejvyšší týdenní přírůsty dospělých buněk byly na lokalitě „skupinky“ zaznamenány přibližně v polovině července, na lokalitě „AHL“ pak ve druhé polovině téhož měsíce.

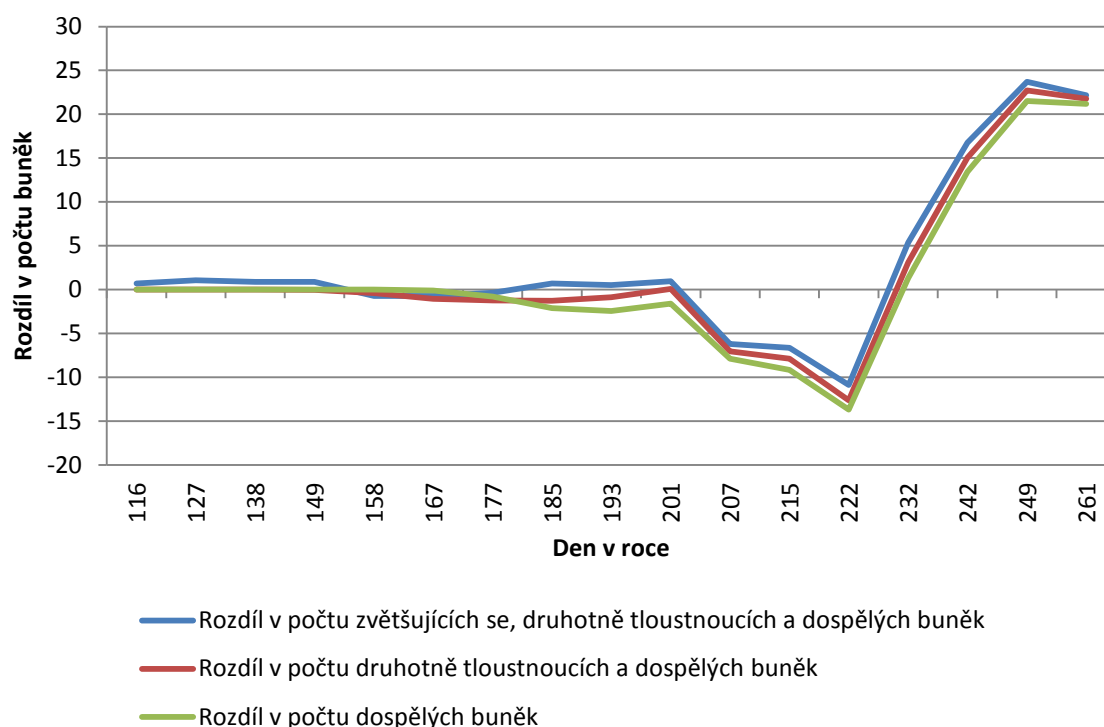


Obrázek 31: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012. Chybové úsečky značí hodnotu směrodatné odchylky.



Obrázek 32: Chod teplot vzduchu a půdy ve vztahu k počtu zvětšujících se a druhotně tloustnoucích buněk na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011. Chybové úsečky značí hodnotu směrodatné odchylky.

Průběh rozdílu v počtu buněk v sezóně 2012 lze rozdělit zhruba do tří období (obrázek 33): (i) období, trvající do poloviny července (20.7), kdy téměř žádné rozdíly v počtech buněk mezi lokalitami nebyly; (ii) období, kdy byly týdenní přírůsty vyšší na lokalitě „skupinky“, což nastalo v případě součtu zvětšujících se, druhotně tloustnoucích i dospělých buněk v rozmezí od poloviny července do poloviny srpna (20.7 – 20.8); a (iii) zbytek růstového období, kdy byl pozorován prudký nárůst rozdílu v počtu buněk ve prospěch jedinců rostoucích na lokalitě „AHL“.



Obrázek 33: Rozdíl v týdenním přírůstu buněk, zhlazený třítermínovým klouzavým průměrem, mezi lokalitami „AHL“ a „skupinky“ ve vegetačním období roku 2012.

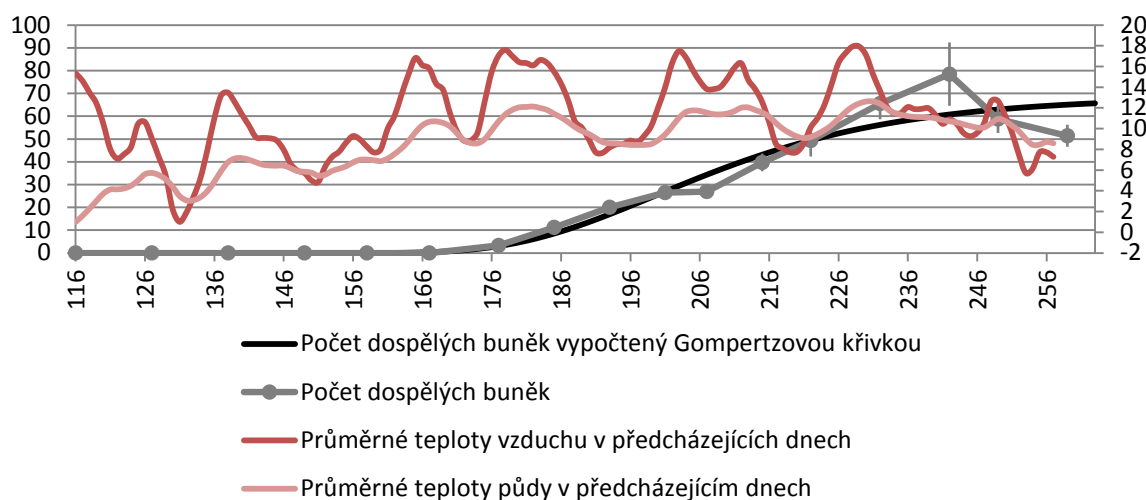
Tabulka 26: parametry pro výpočet Gompertzovy funkce pro všechny sledované jedince na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2012.

	Parametry Gompertzovy funkce pro jednotlivé fáze dělení buněk na lokalitě „AHL“			Parametry Gompertzovy funkce pro jednotlivé fáze dělení buněk na lokalitě „skupinky“		
	Zvětšující se, druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Zvětšující se, druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Zvětšující se, druhotně tloustnoucí a dospělé buňky	Druhotně tloustnoucí a dospělé buňky
A	68,4			55,3		
$\beta$	7,23	9,18	10	10	10	10
$\kappa$	0,03996	0,04785	0,0501	0,05751	0,0546	0,05292
$R^2$	0,931	0,937	0,94	0,905	0,921	0,928

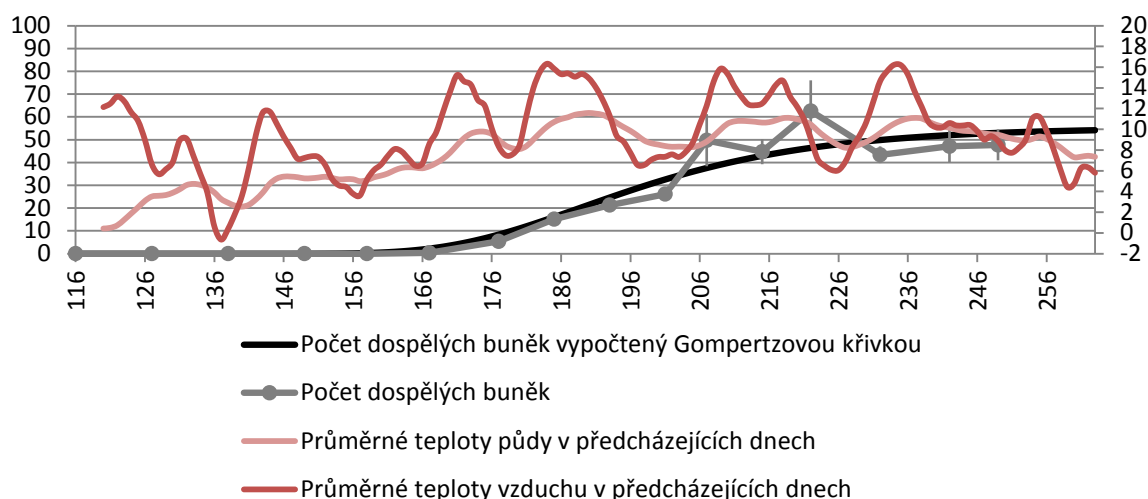
Po aplikaci Gompertzovy funkce (obrázek 34 a 35, tabulka 26) je patrný rozdíl v průměrném počtu vytvořených buněk mezi oběma lokalitami. Dělení buněk začalo dříve na lokalitě „AHL“, nástup ostatních fází však nastal dříve na lokalitě „skupinky“.

Období růstu trvalo na lokalitě „AHL“ 132 dní a na lokalitě „skupinky“ 111 dní, rozdíl mezi oběma lokalitami však lze pozorovat nejen v rozdílné délce růstových období, ale i v délce trvání jednotlivých fází, kdy fáze zvětšování buněk trvala na lokalitě „skupinky“

104 dní a na lokalitě „AHL“ 126 dní a délka druhotného tloustnutí buněčných stěn trvala na lokalitě „AHL“ 82 dní, na lokalitě „skupinky“ trvala celkem 91 dní.



Obrázek 34: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „AHL“ růstovém období roku 2012.



Obrázek 35: Reálný a idealizovaný vývoj počtu dospělých buněk ve srovnání s chodem průměrných teplot vzduchu a půdy na lokalitě „skupinky“ růstovém období roku 2012.

### 5.3 VLIV TEPLOTNÍCH PODMÍNEK NA TVORBU DŘEVA

Kambiální aktivita začala v obou sledovaných letech na lokalitách v době, kdy byly ve čtyřech předcházejících dnech průměrné teploty půdy 2,4 °C, vzduchu při kmeni 4,8 °C a vzduchu při koruně 4,7 °C. Zatímco průměrné maximální teploty půdy byly ve stejném období zhruba o 0,5 °C vyšší než průměrné teploty půdy, tak průměrné maximální teploty vzduchu dosahovaly hodnot od 9,3 °C do 9,6 °C. V intervalech mezi odběry byly zaznamenány u všech sledovaných teplotních proměnných vyšší hodnoty, tzn. průměrné teploty půdy, 3,3 °C, vzduchu při kmeni, 8,5 °C a vzduchu při koruně 8,3 °C, průměrné

maximální teploty půdy se pohybovaly okolo 4 °C a vzduchu v rozmezí od 13,8 do 14,9 °C.

Teplotní poměry pozorované v období před počátkem fáze zvětšování buněk jak v období mezi intervaly, tak v několika dnech před odběrem se velice podobají teplotním poměrům, které panovaly v době, kdy byl zaznamenán počátek kambiální aktivity (příloha 26, 27, 28 a 29), obvykle se liší maximálně o 1 °C v případě průměrných teplot, popřípadě o 2 °C v případě průměrných maximálních teplot.

Začátek fáze druhotného tloustnutí byl pozorován v době, kdy se pohybovaly průměrné teploty půdy mezi 6 až 7 °C, teploty vzduchu se v období mezi jednotlivými intervaly pohybovaly okolo 8 °C a před konkrétními odběry okolo 9 °C. Průměrné maximální teploty půdy se pohybovaly mezi 7 až 7,5 °C, průměrné maximální teploty vzduchu pak mezi 12 až 14 °C.

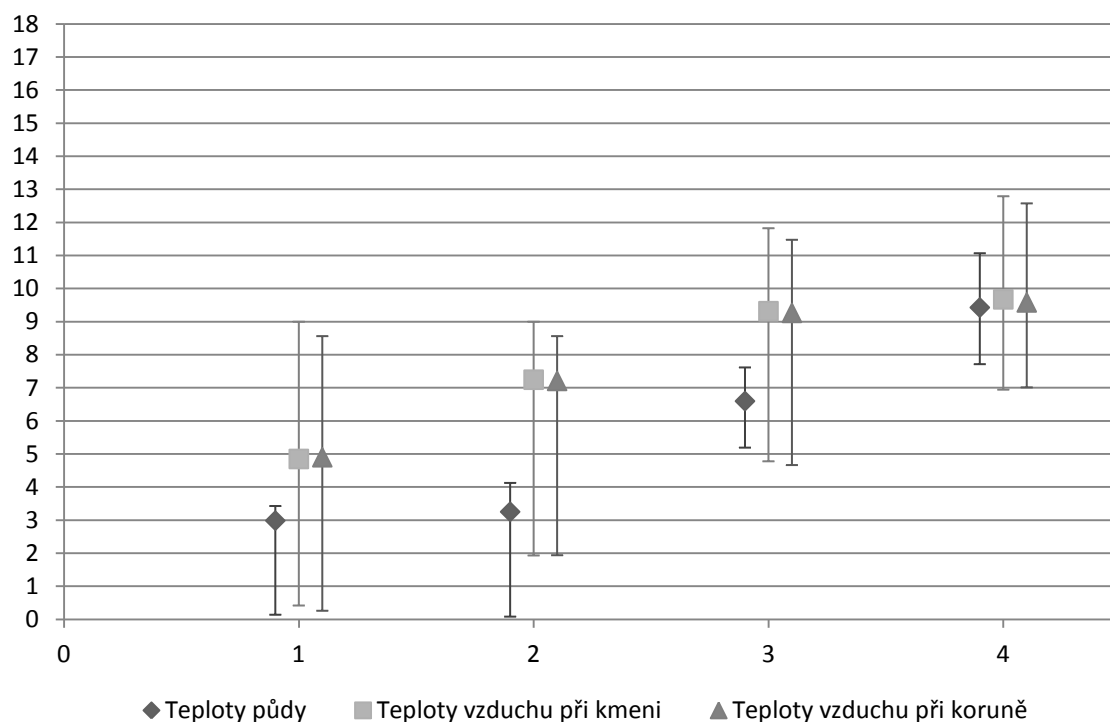
V době, kdy byly zaznamenány první dospělé buňky, byly průměrné teploty vzduchu a půdy celkově nejvyrovnanější, přičemž průměrné teploty se v několika dnech předcházejících odběru pohybovaly okolo  $9,5 \pm 0,3$  °C a v období mezi dvěma konkrétními odběry okolo  $8,5 \pm 0,5$  °C. Průměrné maximální teploty půdy se pohybovaly mezi 9 až 10 °C a průměrné maximální teploty vzduchu od 11 do 13 °C.

Nejnižší rozptyly hodnot jsou charakteristické pro průměrné hodnoty teplot půdy, což může souviset i s jejich nižší fluktuací v čase, celkově rozkolísanější jsou teploty vzduchu. Rozptyl teplot se, zejména v případě rozptylů průměrných teplot vzduchu, snižují v průběhu času, tzn. nejnižší rozptyly hodnot průměrných teplot vzduchu jsou charakteristické pro období před počátkem fáze druhotného tloustnutí a dospělosti, nejvyšší pak pro období před počátkem kambiální aktivity a fáze zvětšování buněk (tabulka 27).

*Tabulka 27: Rozptyly průměrných hodnot teplot panujících v době před odběrem vzorků, v nichž byl pozorován počátek kambiální aktivity, první zvětšující se buňky, první druhotně tloustnoucí buňky a první dospělé buňky. „Rozptyl teplot před odběrem“ je rozptyl teplot ve čtyřech dnech předcházejících odběru, „Rozptyl hodnot průměrných teplot v době mezi dvěma odběry“ je rozptyl teplot mezi dvěma provedenými odběry.*

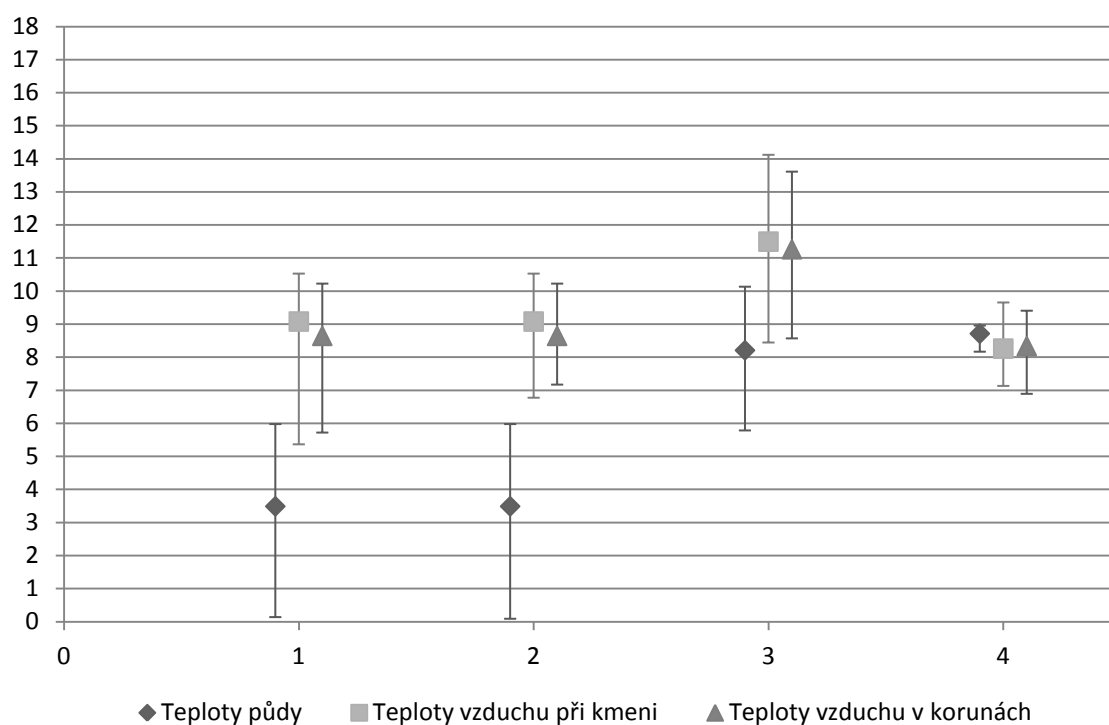
		Rozptyl teplot půdy	Rozptyl teplot při kmeni	Rozptyl teplot při koruně
začátek kambiální aktivity	Rozptyl hodnot průměrných teplot době před odběrem	1,71	13,46	13,06

začátek fáze zvětšování	Rozptyl hodnot průměrných teplot době mezi dvěma odběry	4,73	3,70	2,65
	Rozptyl hodnot průměrných teplot době před odběrem	2,39	7,35	6,53
začátek druhotného tloustnutí	Rozptyl hodnot průměrných teplot době mezi dvěma odběry	4,45	4,47	2,47
	Rozptyl hodnot průměrných teplot době před odběrem	0,90	6,11	5,87
První dospělé buňky	Rozptyl hodnot průměrných teplot době mezi dvěma odběry	0,59	3,95	3,86
	Rozptyl hodnot průměrných teplot době před odběrem	2,15	5,64	4,97
	Rozptyl hodnot průměrných teplot době mezi dvěma odběry	0,09	0,80	0,80



Obrázek 36: Teplotní poměry zaznamenané v několika dnech předcházejících dni, kdy byly pozorovány počátky konkrétních fází (1) počátek kambiální aktivity; (2) výskyt prvních zvětšujících se buněk, (3) výskyt prvních druhotně tloustnoucích buněk; (4) výskyt prvních dospělých buněk. Chybové úsečky reprezentují minimální, resp. maximální, zaznamenané teploty.





Obrázek 37: Teplotní poměry zaznamenané v intervalech mezi dvěma odběry předcházejících odběru, kdy byly pozorovány počátky konkrétních fází (1) počátek kambiální aktivity; (2) výskyt prvních zvětšujících se buněk, (3) výskyt prvních druhotně tloustnoucích buněk; (4) výskyt prvních dospělých buněk. Chybové úsečky reprezentují minimální, resp. maximální, zaznamenané teploty.

## 6 DISKUSE

### 6.1 TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKA LOKALIT

Podle dat meteorologické stanice Sněžka z let 1961 – 1990 je ve vrcholových partiích Krkonoš nejteplejším měsícem srpen a druhým nejteplejším měsícem červenec (Metelka et al. 2007). V roce 2011 byl dle dat ČHMÚ naměřených na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou (824 m n. m.) nejteplejším měsícem srpen (14 °C), následovaný červnem (13 °C) a červencem (13 °C). V roce 2012 byl na stejné meteorologické stanici nejteplejším měsícem červenec (15 °C), následovaný srpnem (14 °C) a červnem (13 °C). V porovnání s daty normálu teplot 1961 – 1990 pro meteorologickou stanici Pec pod Sněžkou byly průměrné, průměrné minimální i průměrné maximální teploty v roce 2011 mírně nad normálovými teplotami, zhruba 0,5 °C, naopak červencové teploty byly nižší. Výrazněji, přibližně 1 °C, nad normálem 1961 – 1990 byly v roce 2012 na stanici Pec pod Sněžkou průměrné červnové, červencové a srpnové teploty (příloha 29 a 30).

Pozorované hodnoty z obou lokalit se v trendech shodují s daty meteorologické stanice Pec pod Sněžkou udávané pro roky 2011 a 2012, výjimkou je pouze průměrná teplota vzduchu v srpnu roku 2012 na lokalitě „skupinky“. Rozdíly v průměrných měsíčních teplotách mezi třemi nejteplejšími měsíci, tj. srpen, červenec a červen se v letech 2011 a 2012 pohybovaly na obou lokalitách řádově do 2 °C, podobné trendy lze pozorovat ve stejném období i v datech meteorologické stanice Pec pod Sněžkou (Zdroj: ČHMÚ).

Körner et Paulsen (2004) vymezují vegetační období, jako souvislé období, kdy průměrné teploty půdy přesahují hodnotu 3,2 °C. Takto vymezené vegetační období začalo na lokalitě „AHL“ v roce 2011 8. 5. a v roce 2012 19. 5. Na lokalitě „skupinky“ dle této definice začalo vegetační období 19. 5. 2011, resp. 21. 5. 2012. Tremel et Banaš (2008) pozorovaly počátek vegetačního období, vymezené dle stejného kritéria, ve Vysokých Sudetech v letech 2006 a 2007 v podobném období, konkrétně mezi 6. až 20. květnem.

Rozdíl mezi začátky vegetačního období v roce 2011 byl způsoben dlouhou periodou, kdy kolísaly hodnoty průměrných teplot půdy na lokalitě „skupinky“ po dlouhou dobu okolo hodnoty 0 °C, což mohlo být způsobeno slabou sněhovou pokrývkou akumulovanou na obou lokalitách v průběhu zimy 2010/2011 (na konci dubna se sníh na lokalitách již nevyskytoval) a hlouběji promrzlou půdou. Naproti tomu v zimě 2011/2012,

byla výška akumulované sněhové pokrývky podstatně vyšší a na jaře tak nebyla zaznamenána ani na jedné lokalitě perioda s teplotami půdy pohybujícími se kolem 0 °C (na konci dubna se na lokalitě „skupinky“ nacházel stále ještě přibližně 1m sněhu).

Stanovení průměrných teplot půdy pro celé vegetační období a termínů konců vegetačního období je poměrně obtížné, neboť záznamová zařízení byla v obou sledovaných letech vyjmuta z půdy vždy v době, kdy průměrné teploty půdy stále přesahovaly hodnotu 3,2 °C. Při porovnání teplotních průměrů za období od počátku vegetačního období do 10. 9. byly pozorovány teploty v rozmezí od 8,5 do 10,5 °C, nicméně 10. 9. se vždy vyskytovaly na obou lokalitách teploty vzduchu i půdy daleko vyšší než 3,2 °C a lze tedy předpokládat, že výsledné hodnoty by se více blížily průměrným hodnotám teplot půdy charakteristických pro ekoton horní hranice lesa v celosvětovém měřítku, jež pozorovali Körner et Paulsen (2004), Körner (2012) či Holtmeier et Broll (2007), které tito autoři uvádějí v rozmezí 5-8 °C, obvyklá hodnota průměrných teplot vzduchu na alpských hranicích lesa je dle Körnera (2012)  $6,7 \pm 0,8$  °C.

Průměrné teploty vzduchu při kmeni, platné pro období od 1. června do 20. září, dosahovaly v roce 2011 na lokalitě „AHL“ 11,2 °C, na lokalitě „skupinky“ 8,9 °C a v roce 2012 11,6 °C na lokalitě „AHL“, resp. 10,1 °C na lokalitě „skupinky“. Rossi et al. (2007) pozoroval na alpské hranici lesa v rozmezí od června do září během sezón 2002, 2003 a 2004 průměrné teploty kmene od 9,6 °C do 12,8 °C a průměrné teploty vzduchu na stejných lokalitách od 8,9 do 11,6 °C. Teploty pozorované na alpské hranici lesa v Krkonoších v přibližně stejném období v průběhu sezón 2011 a 2012 dosáhly podobných hodnot.

Teploty vzduchu při kmeni a v korunách jedinců vykazaly v ročním chodu v podstatě shodný trend. Rozdíl mezi teplotami vzduchu při kmeni a při koruně byl celkově nižší na lokalitě „skupinky“, a to řádově o několik desetin, což je pravděpodobně způsobeno nižší vertikální vzdáleností mezi měřicími body (5 m na lokalitě „AHL“ resp. 2 m na lokalitě „skupinky“). Díky tomu nižší stromy mohly více profitovat z prohřáté přízemní vrstvy vzduchu, čímž může být snížen rozdíl mezi teplotami vzduchu při kmeni a při vzrostném vrcholu (Paulsen et Körner 2001).

Nejpodstatnější rozdíl v teplotních charakteristikách obou sezón spočíval zejména v pozdějším počátku růstového období 2012 oproti počátku růstového období roku 2011. Zjištěné průměrné vyšší teplotní gradient půdy v růstovém období roku 2011 oproti roku

2012 je způsobený výskytem relativně dlouhé periody, během které se pohybovaly teploty půdy na lokalitě „skupinky“ okolo 0 °C, zatímco teploty půdy na níže položené lokalitě byly výrazně vyšší.

Průměrný teplotní gradient pozorovaný v obou vegetačních sezónách se v případě půdních teplot pohyboval mezi 0,8 – 1,2 °C (0,57 – 0,86 °C/100m), pro teploty vzduchu při koruně činil 1,2 – 1,3 °C (0,85-0,92 °C/100m) a pro teploty ve 2 m při kmeni činil 1,5-1,7 °C (1,07 – 1,21 °C/100m). Teplotní gradient byl, v případě teplot při kmeni a teplot půdy, nepatrně vyšší v roce 2011, což mohlo být způsobeno vyšším počtem jasných dní v roce 2011 (příloha 31 a 32). Naopak teplotní gradient vzduchu při koruně mezi lokalitami byl vyšší v roce 2012.

Udávaná průměrná hodnota vertikálního teplotního gradientu teplot vzduchu pro území České republiky, v letních měsících je 0,68 °C na 100 výškových metrů (Květoň 2011). Körner (2007) uvádí průměrnou hodnotu teplotního gradientu v oblastech ekotonu alpské hranice lesa 0,6 °C na 100 výškových metrů. Treml et Banaš (2008) uvádějí hodnotu teplotního gradientu ve Vysokých Sudetech 0,73 °C/100m pro teploty při kmeni a 0,4 °C/100m pro teploty půdy měřené v 10 cm pod povrchem. Moser et al. (2009) vypočítala hodnotu průměrného gradientu teplot, na transektu ve Švýcarských alpách mezi 1350 – 2150 m n. m., pro jižní svahy 0,41 °C/100m pro teploty vzduchu a 0,54 °C/100m pro teploty půdy

Vertikální teplotní gradient mezi meteorologickou stanicí Sněžka a meteorologickou stanicí Pec pod Sněžkou pro celý rok činil pro roky 1961-1990 přibližně 0,55 °C/100m, nicméně od května do září dosahoval hodnoty 0,7 °C/100m (vypočteno dle Metelka et al. 2007). Tato hodnota je podstatně menší, než teplotní gradient pozorovaný mezi oběma lokalitami.

Poměrně vysoký teplotní gradient může do jisté míry souviset s rozdílným sklonem lokalit, 25° na lokalitě „AHL“ resp. 10° na lokalitě „skupinky“, kdy sluneční paprsky v průběhu léta dopadají na lokalitu „AHL“ pod vyšším úhlem než na lokalitu „skupinky“ a svah se tak může lépe prohřívat.

Hodnota sacího potenciálu půdy byla vyšší na lokalitě „skupinky“, což značí, že lokalita byla v průběhu vegetační sezóny 2012 sušší než lokalita „AHL“. Nejsuššími obdobími byl počátek vegetační sezóny, konkrétně květen a červen, a konec vegetační sezóny, kdy byly, zejména na lokalitě „skupinky“ pozorovány podobné hodnoty sacího

potenciálu jako v období na počátku vegetační sezóny. V těchto obdobích nebyly zaznamenány nejvyšší průměrné denní ani měsíční teploty, a tak nelze potvrdit vztah mezi teplotními poměry a vlhkostí půdy v 10 cm. Naopak v průběhu července, kdy sací potenciál dosahoval nejnižších hodnot, byly na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou zaznamenány nejvyšší srážky (zdroj: ČHMÚ).

## 6.2 KAMBIÁLNÍ AKTIVITA

Určení počátku kambiální aktivity je poměrně důležité, protože termín začátku dělení buněk silně ovlivňuje jejich množství během sezóny (Vaganov et al. 1999, Esper et al. 2001, Gričar et al. 2007; Rossi et al. 2007), nicméně přesné určení jejího počátku je obtížné z důvodu velkého rozestupu mezi jednotlivými odběry a rychlé reaktivaci kambia řádově do 24 hodin (Gryc et al. 2011). Jako počátek kambiální aktivity byla brána data, ve kterých již bylo v odebraných mikrosondách možné identifikovat zvýšené množství kambiálních buněk.

Teploty vzduchu zaznamenané v intervalech mezi odběry, kdy byla zaznamenána reaktivace kambia, se v obou letech pohybovaly mezi 5,5 – 10°C, což se plně shoduje s teplotami, které jako prahové hodnoty pro reaktivaci kambia uvádějí Wilcox (1964 in Gryc et al. 2011), Horáček (1999 in Gryc et al. 2011), Čufar et al. (2007) Rossi et al. (2007 a 2008) a Gričar et Čufar (2008). Krause et al. (2010) dokonce pozoroval aktivitu v kambiální zóně během období s průměrnými denními teplotami 0 °C. Podobných hodnot na obou lokalitách jako teploty vzduchu v tomto období dosahovaly i teploty měřené v korunách jedinců, vlivem měření ve vyšší výšce však vykazaly nižší rozkolísanost. Teploty půdy, zaznamenané na lokalitě „AHL“ i na lokalitě „skupinky“ ve stejném období, se pohybovaly v rozmezí od 0 do 6 °C, ve ¾ případů v rozmezí od 2,6 do 4,4°C. Například Lupi et al. (2011) uvádí, že teploty půdy nemají na průběh xylogeneze a kambiální aktivity takový vliv jako teploty vzduchu.

Díky relativně dlouhým intervalům mezi jednotlivými odběry, v rozsahu 7-10 dní, je zřejmé, že docházelo k reaktivaci kambia obvykle v některém ze dnů mezi jednotlivými odběry, kdy byly pozorovány zvýšené teploty, pohybující se nad kritickou hodnotou.

Mimo období kambiální aktivity bylo v kambiální zóně pozorováno v sezóně 2011 na obou lokalitách přibližně 7 buněk. V sezóně 2012 bylo ve stejné době pozorováno v kambiální zóně v průměru 6 buněk na lokalitě „AHL“ a 5 buněk na lokalitě „skupinky“. V období kambiální aktivity došlo ke zvýšení průměrného počtu kambiálních buněk na 11-

12 v sezóně 2011 a na 8 – 9 v sezóně 2012 (nižší hodnota je charakteristická vždy pro lokalitu „skupinky“). Pozorované hodnoty kambiální aktivity napříč autory ukazuje tabulka 20.

*Tabulka 28: Kambiální aktivita smrku ztepilého pozorována různými autory.*

Autor	Popis lokality	Počet kambiálních buněk mimo období kambiální aktivity	Počet kambiálních buněk v období kambiální aktivity	Délka kambiální aktivity
Pozorované hodnoty	50°43'N, 15°40'E Průměrná roční teplota vzduchu 2,6°C Průměrný roční úhrn srážek 1265 mm	6-7	8-12	55-74 dní
Gryc et al. (2011)	49°29'31"N, 16°43'30"E 600-660 m n. m. Průměrná roční teplota vzduchu 6,5°C Průměrný roční úhrn srážek 717 mm	4,5	9,5	18-23 týdnů
Gryc et al. (2012)	59°40'N, 10° 43'S 90 m n. m. Průměrná roční teplota vzduchu 5,3°C Průměrný roční úhrn srážek 785 mm	6,2 (5-8)	8,2 (7-10)	období nejvyššího počtu kambiálních buněk trvalo 57 dní
Rossi et al. (2006b)	46°27'N, 12°08'E 2080 m n. m. Průměrná roční teplota vzduchu 2,4°C Průměrný roční úhrn srážek 1150 mm	6-8	10-14	přibližně 10 týdnů
Rossi et al. (2007)	46°27'N, 12°08'E 2080-2130 m n. m. Průměrná teplota vzduchu v období červen-září 8.9-11,6°C Průměrný roční úhrn srážek 1150 mm	6-9	12-14	přibližně 75 ±5 dní
Rossi et al. (2008)	46°27'N, 12°08'E 2080 m n. m. Průměrná roční teplota vzduchu 2,4°C Průměrný roční úhrn srážek 1150 mm	6-8	9-14	62-72 dní u mladých jedinců, 48-55 u starých jedinců

Gryc et al. (2011) pozoroval na lokalitě Rajec (850 m n. m.) v roce 2009 počty kambiálních buněk smrku v období kambiální aktivity od 4,5 mimo období kambiální aktivity, do 9,5 v období kambiální aktivity. Podobné počty pozoroval též autor na lokalitách v nižších nadmořských výškách (90 m n. m.) nacházejících se v jižním Norsku (Gryc et al. 2012). Rossi et al. (2006b, 2007 a 2008) pozoroval kambiální aktivitu u smrku v ekotonu alpínské hranice lesa v italských Alpách (2050 m n. m.), přičemž ve třech pracích uvedených v tabulce 28 pozoroval počty kambiálních buněk mimo období kambiální aktivity v rozmezí od 6 do 9 buněk a v období kambiální aktivity v rozmezí od 9 do 14 buněk. Počty kambiálních buněk pozorované v ekotonu alpínské hranice lesa v Krkonoších v roce 2011 se v zásadě shodují s daty uváděnými Rossim et al. (2006b a 2007) jak pro období kambiální aktivity, tak pro období, kdy nebyla kambiální aktivita zaznamenána. Průměrné počty kambiálních buněk pozorované v roce 2012 byly v průměru nižší než v předcházejícím roce, nicméně stále se pohybovaly v rozmezí průměrných počtů kambiálních buněk pozorovaných Rossim et al. (2008) na alpínské hranici lesa. Průměrné počty buněk, pozorované v roce 2012 na lokalitě „skupinky“, byly nižší než na níže položené lokalitě a spíše odpovídaly počtům kambiálních buněk pozorovaných Grycem et al. (2012) na lokalitách v Jižním Norsku (90 m n. m.).

Kambiální aktivita začala v roce 2011 na lokalitě „AHL“ mezi 19. 4. – 25. 5. a na lokalitě „skupinky“ mezi 5.5. – 14.5. V roce 2012 nastal nárůst počtu kambiálních buněk na obou lokalitách mezi 7.5. – 18.5. Dřívější počátek kambiální aktivity na lokalitě „AHL“ souvisel pravděpodobně s velmi slabou sněhovou pokrývkou v zimě 2010/2011, podobný vztah mezi zpožděním kambiální aktivity vlivem vyšší sněhové pokrývky v kombinaci s teplotami panujícími na počátku vegetační sezóny prokázal i Vaganov et al. (1999). Z doposud pozorovaných dat lze říci, že kambiální aktivita začíná na alpínské hranici lesa, v Krkonoších obvykle v první polovině května. Tento závěr lze podpořit i úvahou o pozdějším počátku kambiální aktivity oproti níže položeným lokalitám, kdy Gryc et al. (2011) stanovil počátek kambiální aktivity v roce 2011 na lokalitě Rajec, v nadmořské výšce 850 m n. m., mezi 16. – 30. dubnem, pokud budeme brát v úvahu prodlužování vegetačního období pozorované Moser et al. (2009), která udává hodnotu prodlužování vegetačního období o 3 – 4 dny na 100 výškových metrů, lze při vypočtení vertikálního rozdílu mezi lokalitou Rajec a lokalitami na Luční hoře, který činí 450 resp. 600 výškových metrů, stanovit zpoždění zkrácení vegetační sezóny v rozmezí 13 – 18 dní pro lokalitu „AHL“ resp. 18 – 24 dní pro lokalitu „skupinky“, což nasvědčuje tomu, že by

kambiální aktivita měla začínat na alpínské hranici lesa zhruba v 1. polovině května. Výše zmíněné závěry podporuje i předpokládaný počátek růstového období ve Vysokých Sudetech stanovený Tremlem et Banašem (2008) pro roky 2006 a 2007 na 6. – 20. květen, kteří vymezovali vegetační období dle dua Körner et Paulsen (2004), tedy jako výskyt souvislého období s teplotami půdy přesahující 3,2 °C, a také obvyklým nástupem fenologické fáze pučení jehlic smrku v nejvyšších polohách Krkonoš, které dle Hájkové et al. (2012) nastává obvykle po 13. květnu.

Délka kambiální aktivity se pohybovala v obou sledovaných letech přibližně v rozmezí od 55 do 74 dní, přesné stanovení doby je problematické z důvodu již zmíněného problému se stanovením přesného začátku i konce kambiální aktivity, přičemž nejkratší období kambiální aktivity bylo zaznamenáno na lokalitě „skupinky“ v roce 2011 (zhruba 55 dní), nejdelší v témže roce na lokalitě „AHL“ (přibližně 74 dní), v roce 2012 trvala období na obou lokalitách přibližně stejnou dobu (zhruba 69 dní). Rossi et al. (2006b, 2007 a 2008) pozoroval délku období kambiální aktivity, na alpínské hranici lesa v italských Alpách, o délce přibližně 70 dní (10 týdnů), zároveň pozoroval, že kambiální aktivita starších jedinců trvá celkově kratší dobu než u jedinců mladších (Rossi et al. 2012). Týž autor, Rossi et al. (2012), uvádí délky kambiální aktivity v chladných oblastech v rozmezí od 50 (lokalita v severním Finsku) po 100 dní (lokalita ve Slovinských Alpách). Levančič et al. (2009) pozoroval délku kambiální aktivity na lokalitě v Pokljuje, ve Slovinských Alpách v nadmořské výšce 1250 m, o délce 98 – 119 dní v letech 2002 a 2004, v roce 2003 pak pouze o délce 77 – 84 dní. Pro lokalitu Pokljuka uvádí Levančič et al. (2009) hodnotu průměrné roční teploty vzduchu 3,5 °C, nejteplejšími měsíci jsou červenec a srpen (s průměrnými teplotami 12,3 resp. 11,9 °C), a průměrný roční úhrn srážek 1978 mm.

Iniciace kambiální aktivity je obecně dána kombinací zvýšení teploty pletiv v kambiální zóně (Gričar et al. 2007), zvýšením teplot pletiv ve vzrostných vrcholech indukující tvorbu auxinu (Rossi 2012) a prodloužením fotoperiody (Rossi et al. 2006a). Relativní význam těchto faktorů zatím není uspokojivě znám (Lupi 2011). Gryc et al. (2012) uvádí, že průměrné teploty vzduchu v týdnu před počátkem kambiální aktivity, byly vyšší 4,76 °C. Týž autor (Gryc et al. 2011) uvádí před počátkem kambiální aktivity, na lokalitě Rajec v roce 2011, byly průměrné denní teploty vzduchu vyšší než 4,9 °C. Tyto hodnoty byly nižší než pozorované průměrné teploty vzduchu mezi intervaly odběrů na



alpínské hranici lesa v Krkonoších, kdy byla poprvé pozorována kambiální aktivita na lokalitách na Luční hoře. Nejnižší pozorovaná teplota v období mezi dvěma intervaly odběrů, před záznamem prvních kambiálních buněk, byla 5,4 °C. Průměrné teploty půdy se pohybovaly před počátkem kambiální aktivity obvykle kolem 3,5 °C, nicméně na lokalitě „skupinky“ byla zaznamenána průměrná teplota okolo 0 °C.

Výrazné teplotní výkyvy směrem k vyšším teplotám, které lze pozorovat po prvním a nejvýznamnějším vrcholu kambiální aktivity, obvykle způsobují v kambiální aktivitě druhý významný vrchol, který není tak výrazný ani tak dlouhý jako první. V případě výskytu nižších teplot je možné v datech (příloha 21, 22, 23 a 24) pozorovat relativní pokles počtu kambiálních buněk, který může rezultovat buď v relativní propad, nebo se může projevit jako zpoždění nástupu vrcholu kambiální aktivity.

Vyšší teploty na počátku vegetačního období mohou mít pozitivní vliv na dřívější odtátí sněhu a tím i na dřívější počátek kambiální aktivity (Vaganov et al. 1999). Při porovnání průměrných květnových teplot, které mají patrně zásadní vliv na průběh kambiální aktivity, neboť v první polovině května obvykle začíná kambiální aktivita na alpínské hranici lesa v Krkonoších, a určení jejího charakteru, je zřejmé, že vyšší průměrné teploty panovaly na lokalitách „AHL“ a „skupinky“ v roce 2012, kdy se pohybovaly mezi 7,1 °C na lokalitě „skupinky“, až 8,8 °C na lokalitě „AHL“, v roce 2011 byla na lokalitě „AHL“ zaznamenána průměrná květnová teplota 7,8 °C a na lokalitě „skupinky“ 5,9 °C.

V případě, že bychom přijali jako hlavní faktor aktivace kambiální zóny bazipetální šíření auxinu (Pallardy et Stephen 2008), je nutné počítat s větší prodlevou nastartování dělení i maxim dělení buněk u vyšších stromů. Zároveň lze předpokládat opožděnou reakci kambiální zóny na teplotní výkyvy.

Určení rychlosti šíření auxinu je možné jen přímým pozorováním, nicméně při úvaze, že se auxin šíří bazipetálně z prostoru vzrostného vrcholu směrem k „odběrovému prostoru“ lze na základě přibližné vzdálenosti těchto dvou bodů a předpokládané rychlosti šíření auxinu zjistit prodlení mezi projevy teplotních výkyvů a počtem buněk v odběrové výšce.

Chod teplot vzduchu při kmeni a teplot půdy v sezónách 2011 a 2012 je společně s příslušnými počty kambiálních buněk součástí přílohy 21, 22, 23 a 24. Z obrázku je patrné, že pozorované počty buněk poměrně dobře odpovídají významným teplotním výkyvům, což podporuje teorii, že aktivita v kambiální zóně není primárně závislá na

množství auxinu transportovaného vzrostným vrcholem, ale hlavně na teplotě kmene což potvrdila i Gričar (et al. 2007). Na druhou stranu v případě silného vlivu teplotně indukované tvorby a bazipetálního šíření auxinu by mělo být na kambiální aktivitě zaznamenané zpoždění za teplotními výkyvy. Toto zpoždění dosahovalo, na základě velmi hrubého odhadu, ca 12 – 24 dní na lokalitě „AHL“, resp. 3-16 dní na lokalitě „skupinky (viz příloha 21, 22, 23 a 24).

Předpokládali jsme, že určitá variabilita v datech začátku, vrcholu a konce kambiální aktivity na studovaných lokalitách je dána rozdíly ve výšce a věku jedinců. Závislost délky kambiální aktivity na věku jedinců prokázal Rossi et al. (2007), který pozoroval kratší periodu kambiální aktivity u skupiny starších jedinců. To, že se v této práci nepodařilo potvrdit vztah mezi věkem jedinců a délkou kambiální aktivity, kterou pozoroval Rossi et al. (2007), je způsoben nižším věkovým rozdílem mezi jednotlivými sledovanými stromy, kdy u Rossiho et al. (2007) činil průměrný rozdíl mezi skupinou mladých a starých stromů 250 let, kdežto nejvyšší rozdíl mezi jedinci zařazenými do naší analýzy byl maximálně 70 let.

Ani na jedné z lokalit však nebyla nalezena signifikantní korelace shodná pro počátek, konec či délku kambiální aktivity pozorované v obou sezónách, nicméně spolehlivost sledovaných korelací může být zkreslena relativně malým datovým souborem na obou lokalitách, jelikož bylo v analýze zahrnuto na každé lokalitě pouze 10 jedinců v roce 2011 a 6 jedinců v roce 2012, a relativně velkými intervaly mezi jednotlivými odběry.

Konec fáze kambiální aktivity pozoroval Rossi et al. (2012) v období, kdy pozoroval nejvyšší průměrné teploty vzduchu, zhruba kolem  $13,8 \pm 2,8$  °C, které nastávaly na daných lokalitách mezi 220. – 230. dnem v roce. V letech 2011 a 2012 na alpské hranici lesa v Krkonoších došlo ke konci kambiální aktivity v době, kdy se průměrné teploty pohybovaly mezi 8,2 – 10,7 °C, přičemž tato doba nastala mezi 188. – 207. dnem v roce.

### 6.3 RADIÁLNÍ RŮST

Dle Deslauriers et al. (2007), Rossiho et al (2006a, 2006b, 2007, 2008, 2012 a 2009), Gryce et al (2011), Gričar et al. (2007) a Gričar et Čufar (2008) dochází k nejvyšším přírůstkům xylému v období s nejdelší fotoperiodou, které nastává v období letního slunovratu. Což se potvrdilo i na sledovaných datech, kdy nejvyšší přírůstek buněk

v sezóně 2011 byl zaznamenán 21. – 29. června a v sezóně 2012, se zhruba týdněm zpožděním, mezi 26. červnem a 4. červencem. Vrcholy byly pozorovány ve stejných termínech na obou lokalitách.

Teploty pozorované před počátkem fáze zvětšování se podobají teplotám, které panovaly i před reaktivací kambialních buněk, hodnoty se pohybovaly v intervalu od 6,5 do 10,5 °C, což jsou teploty v podobném rozsahu, jaké uvádí Rossi et al. (2007) a Moser et al. (2009), kteří uvádějí, že k dělení buněk dochází při teplotách pohybujících se kolem 7 °C (6,8 – 8,5 °C).

V době mezi dvěma intervaly odběrů, kdy bylo poprvé pozorováno druhotné tloustnutí buněčných stěn, byly zaznamenány teploty vzduchu při kmeni a při vzrostných vrcholech v rozmezí od 8,5 do 14 °C, což se shoduje s výše uvedenými teplotami údaj, které udává Rossi et al. (2007) a Moser et al. (2009). Tuto prahovou hodnotu potvrdila i Gričar et al. (2007), která experimentálně snížila teplotu kmene jedinců smrku na 9 – 11 °C a i přes to pozorovala v ochlazených částech kmene fázi druhotného tloustnutí. Teploty pozorované na počátku fáze druhotného tloustnutí se podobaly i teplotám zaznamenaným v době, kdy byly na lokalitách pozorovány i první dospělé buňky.

V křivkách zachycujících kumulativní počty vytvořených buněk je znatelný nerealistický pokles počtů buněk na konci vegetačního období, který by znamenal „zánik“ již vytvořených buněk. Tento stav je samozřejmě nereálný, a proto na tento jev upozorňuje například Rossi et al. (2006b). Dán je zejména variabilitou hodnot, která se liší mezi termíny odběrů a odlišným bodem odběru z kmene. Problém s takovými daty byl částečně vyřešen využitím Gompertzovy křivky (Rossi et al. 2006b), která poměrně dobře aproximuje vývoj počtu dospělých buněk a hodí se tak k vzájemnému porovnávání vývoje jejich počtu mezi jednotlivými lety i lokalitami, zároveň je dobrým nástrojem pro aproximaci růstu, neboť reálná data získaná z různých částí kmene mohou být zkreslena odběry z důvodu nehomogenního rozvodu auxinu podél kmene (Gryc et al. 2011), nicméně mnohdy podhodnocuje či nadhodnocuje počty buněk v jiných fázích či délku trvání jednotlivých fází oproti reálně pozorovaným periodám.

Průměrný rozdíl v ročním přírůstu z hlediska počtu buněk, vypočteného za použití Gompertzovy křivky, byl v obou sledovaných letech vyšší na lokalitě „AHL“, celkově vždy zhruba o 8 buněk. V meziročním srovnání vyšel lépe rok 2012, kdy byl celkový počet vytvořených buněk na obou lokalitách zhruba o 5 buněk vyšší než v roce předchozím, což

bylo velmi pravděpodobně způsobeno výskytem vyšších průměrných teplot vzduchu i půdy v průběhu celého růstového období.

Ovlivnění průběhu fáze zvětšování teplotními výkyvy lze pozorovat buďto na začátku samotné fáze, kdy výskyt relativně chladnějších period může oddálit nástup vrcholu této fáze, nebo po na konci fáze zvětšování, kdy jsou zaznamenávány nižší týdenní přírůsty, které mohou být přerušeny epizodickým nárůstem způsobeným výskytem relativně teplejších period (obrázek 24, 25, 31 a 32).

Celkový počet vytvořených buněk se ve zkoumaných letech pohyboval na lokalitě „AHL“ v průměru mezi 55 až 65 buňkami, což je zhruba o 10 až 20 buněk více než na lokalitě „skupinky“, kde se celkový počet vytvořených buněk pohyboval mezi 45 až 55 buňkami, přičemž nižší počty buněk byly pozorovány v roce 2011. Rossi et al. (2007) pozoroval na alpské hranici lesa v italských Alpách počty buněk smrku v rozmezí od 45 do 76 v závislosti na orientaci svahu, kdy počet vytvořených buněk u jedinců na severních svazích byl nižší. Jím pozorované teploty půdy v období od června do konce září, jež uvádí v rozmezí od 7,3 °C pro severně orientované lokality, po 9,3 °C pro jižně orientované lokality, se podobají teplotám pozorovaných v podobném období v letech 2011 a 2012 v Krkonoších (7,4 – 8,4 °C). Gričar et Čufar (2008) pozorovaly na „subalpínské“ lokalitě v Pokljuce počty buněk vytvořených jedinci smrku v průběhu jedné sezóny v rozmezí 37-46 buněk, bohužel však neuvádějí teplotní poměry na studované lokalitě. Moser et al. (2009) uvádí rozsah buněk na sledovaných lokalitách v různých nadmořských výškách v rozmezí od 15 do 30 buněk, průměrné teploty června, července a srpna se pohybují okolo 10 °C. Naopak Gryc et al. (2011) uvádí pro rok 2009 na lokalitě Rajec hodnotu průměrných ročních teplot vzduchu 6,5 °C a množství zhruba 60 dospělých buněk vytvořených v průběhu jedné vegetační sezóny, což je, i přes značný rozdíl v nadmořské výšce a patrně i průměrných teplotách vzduchu, podobné množství, jaké bylo pozorováno na lokalitě „AHL“. Může to být dáno kompetičními vztahy, protože na lokalitě Rajec rostou stromy v zapojeném lese, kdežto v ekotonu alpské hranice lesa na obou lokalitách na jižním svahu Luční hory je zápoj značně rozvolněný.

Období růstu trvalo ve sledovaných letech v rozmezí od 111 do 132 dní, přičemž v roce 2011 trvalo přibližně 127 dní na lokalitě „AHL“ a 120 dní na lokalitě „skupinky“ a v roce 2012 byla délka růstového období na lokalitě „AHL“ přibližně 132 dní a na lokalitě „skupinky“ přibližně 111 dní. Všechny hodnoty se podobají délkám růstových období

pozorovaných jinými autory. Například Schmittet al (2004 in Moser et al 2009) či Rossi et al. (2012) uvádí délku růstového období pro dlouhodobý vitální růst smrku ztepilého na alpské hranici lesa o délce 100 dní, což podporuje i délkou pozorovaného růstového období na výškovém transektu ve Švýcarských Alpách, v nadmořských výškách od 1350 m do 2150 m, v rozmezí od 110 do 140 dní. Rossi et al. (2007) pozoroval délku růstového období na alpské hranici lesa v Italských Alpách, v nadmořské výšce od 2080 m do 2130 m, v letech 2002-2004 o délce 106-137 dní, přičemž kratší délka růstového období byla charakteristická pro lokality na svazích se severní orientací a pro starší jedince v rámci lokalit. Gričar et Čufar (2008) pozorovaly na lokalitě v Pokljuce ve Slovinských Alpách, v nadmořské výšce 1250 m, délku růstového období přibližně tři a půl měsíce, tedy ca 110 dní. Gryc et al. (2011) stanovil délku růstového období na lokalitě Rajec v roce 2009 na 153 dní. I přes údaje z rozdílných let lze říci, že rozdíl v délce trvání růstového období mezi lokalitami na Luční hoře a lokalitou Rajec je přibližně jeden měsíc, což zhruba odpovídá hodnotě pozorované Moser et al. (2009), která udává prodlužování růstového období o přibližně 3-4 dny pro každých 100 výškových metrů (nejvyšší hodnota uvažovaného rozdílu je 24 dní).

## 7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit a porovnat vztah teplotních poměrů k průběhu tvorby dřeva smrku ztepilého (*Picea Abies* (L.) Karsten) na dvou lokalitách umístěných ve výškovém transektu na jižním svahu Luční hory, z nichž níže položená lokalita se nacházela v nadmořské výšce 1310 m n. m. a druhá v nadmořské výšce 1450 m n. m. K pozorování tvorby dřeva v letech 2011 a 2012 bylo analyzováno celkem 504 preparátů připravených z mikrosond odebraných ve vegetačních sezónách 2011 a 2012.

Průměrné teploty sledovaných veličin, tj. teploty vzduchu při kmeni ve výšce 2 m nad povrchem, teploty u vzrostných vrcholů a teploty půdy v hloubce 10 cm, byly dle očekávání, nižší na výše položené lokalitě. Pozorované hodnoty vertikálního teplotního gradientu vzduchu při kmeni ve výšce přibližně 2 m byly výrazně vyšší (o 0,39 °C v sezóně 2012 resp. 0,53 °C v sezóně 2011) než hodnoty průměrného teplotního gradientu pro území České republiky (0,68 °C Květoň 2007). Což je způsobeno jižní orientací společně se sklonem svahu.

Nejnižší hodnoty vertikálního teplotního gradientu vykázaly půdní teploty (0,57-0,86 °C/100 m v sezóně 2012 resp. 2011), což souvisí s jejich nižší fluktuací v čase. Naopak nevyšší hodnoty teplotního gradientu, byly pozorovány u teplot vzduchu při kmeni, které byly měřené ve výšce 2 m (hodnoty viz výše).

Celkově teplejším z obou sledovaných vegetačních období bylo vegetační období roku 2012.

Počátek kambiální aktivity začal na studovaných lokalitách vždy v 1. polovině května. Její počátek je závislý na množství akumulované sněhové pokrývky a teplotních poměrech na konci dubna a počátku května. Průměrná teplota vzduchu v X denním období před začátkem kambiální aktivity dosahovala 5,4°C, což je v souladu s pozorováním jiných autorů. Délka kambiální aktivity klesá na alpské hranici lesa v Krkonoších s rostoucí nadmořskou výškou, přičemž dochází obvykle ke zpoždění počátku. Pozorovaná délka kambiální aktivity se ve sledovaných letech pohybovala v rozmezí 8-11 týdnů. Vztah výšky či věku jedinců k průběhu kambiální aktivity, se nepodařilo potvrdit.

Diferenciace buněk z kambiální zóny (tj. fáze zvětšování), nastalo vždy velmi rychle po aktivaci kambiální zóny (nejpozději do týdne). Diferenciace buněk, byla ukončena koncem srpna, popřípadě počátkem září. Průměrné teploty vzduchu pozorované

na počátku fáze zvětšování se podobaly teplotám pozorovaným na počátku kambiální aktivity. Pozorovaná délka růstu byla v obou sledovaných letech přibližně 3,5 měsíce, přičemž délka růstové periody, se podobně jako kambiální aktivita, zkracuje s rostoucí nadmořskou výškou. Podobnou délku růstového období a jeho zkracování s rostoucí nadmořskou výškou potvrzují i jiní autoři zabývající se sledováním růstu stromů v chladných oblastech nebo na alpské hranici lesa, například Moser et al. (2009).

Z hlediska tvorby dřeva byl výraznější rok 2012, což je, i přes pozdější počátek dělení buněk v kambiální zóně, v souladu s pozorovanými teplotními poměry na obou lokalitách, kdy vegetační období roku 2012 bylo celkově teplejší než vegetační období roku 2011. Nejintenzivnější radiální růst byl pozorován mezi slunovratem a v první polovině června. Největší vliv na celkový radiální růst mají tedy průměrné teploty vzduchu v červnu a červenci, na což ukazují i studie zabývající se retrospektivní analýzou růstu stromů v této oblasti.

## 8 CITOVANÁ LITERATURA

- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. 1. vydání., Praha: Kartografie Praha, 79 str.
- DESLAURIERS, A., ROSSI, S., ANFODILLO, T. (2007): Dendrometer and intra-annual tree growth: what kind of information can be inferred? *Dendrochronologia* 25, s. 113–124.
- ENGEL, Z. (2007): Late pleistocene glaciations in the Krkonoše Mountains. In: Goudie, S., Kalvoda, J. (eds): *Geomorphological Variations*. Praha, Nakladatelství P3K, s. 269 – 285.
- ENGEL, Z., NÝVLT, D., KŘÍŽEK, M., TREML, V., JANKOVSKÁ, V., LISÁ, L (2010): Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonoše Mountains, Czech republic. *Quaternary science Reviews* 29, s. 913–927.
- ESPER, J., SCHWEINGRUBER, F.H., WINIGER, M. (2001): 1300 Years of climatic history for Western Central Asia inferred from tree-rings. *Holocene* 12, s. 267–277.
- ESTELLE, M. (1998): Polar Auxin Transport: New Support for an old Model. *The Plant Cell* 10, s. 1775–1778.
- GRUBER, A., BAUMGARTNER, D., ZIMMERMANN J., OBERHUBER, W. (2008): Temporal dynamic of wood formation in *Pinus Cembra* along the alpine treeline ecotone and the effect of climate variables. *Trees* 23, s. 623–635.
- GRYC, V., HACURA, J., VAVRČÍK, H., URBAN, J., GEBAUER, R. (2012): Monitoring of xylem formation in *Picea abies* under drought stress influence. *Dendrobiology* 67, s. 15–24.
- GRYC, V., VAVRČÍK, H., VICHROVÁ, G. (2011): Monitoring of xylem formation in Norway spruce in the Czech republic 2009. *Wood research* 56, 467–478.
- GRIČAR, J., ŽUPANČIČ, M., ČUFAR, K., OVEN, P. (2007): Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally deated and cooled stem portions of norway spruce. *Wood Science Technology* 41, s. 463–475.
- GRIČAR, J., ČUFAR, K. (2008): Seasonal dynamics of Phloem and xylem Formation in silver Fir and Norway Spruce as Affected Drought. *Russian Journal of Plant Physiology* 55, s. 538–543.)
- HAN, A. R., LEE, S. K., SUH, G. U., PARK, Y., PARK, P. S. (2012): Wind and topography influence the Crown growth of *Picea jezoensis* in a subalpine forest on Mt. Deogyu, Korea. *Agricultural and Forrest Meteorology* 166–167, s. 207–214.
- HARSCH, M. A., HULME, P. E., MCGLONE, M. S., DUNCAN, R. P. (2009): Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters* 12, s. 1040–1049.
- HARSCH, M. A., BADER, M. Y. (2011): Treeline form – a potential key to understanding treeline dynamic. *Global Ecology and Biogeography* 20, s. 582–596.
- HARTMANOVÁ, O., LABOREWITZ, I. (2007): Pravěk a raný středověk. In: Kol.: *Krkonoše. Příroda, historie, život*. BASET, s. 295–296.
- HÁJKOVÁ, L., KOŽNAROVÁ, V., SULOVSÁ, S., RICHTEROVÁ, D. (2012): The temporal and spatial variability of phenological phases of the Norway Spruce (*Picea Abies* (L.) Karsten) in the Czech Republic. *Folia Oecologia* 39, s. 10–20.
- HRNČIAŘOVÁ T., MACKOVČIN, P., ZVARA, I. eds. (2010): *Atlas krajiny České republiky*, MŽP Průhonice, VÚKOZ, 332 str.
- HRUŠKA, J., OULEHLE, F., KRÁM, P., SKOŘEPOVÁ, I., NAVRÁTIL, T. (2009): vliv imisí síry a dusíku na horské lesy. In: Fanta, J., Křenová, Z. (eds.): *Management*



- lesů v českých národních parcích. Správa Národního parku Šumava, Vimperk, s. 70-79.
- HUNČAROVÁ, E., PARZÓCH, K. (2007): Hydrologie. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 157-165.
- HOLTMAIER, K., BROLLE, G. (2005): Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography* 14, s. 395-410.
- HOLTMEIER, F-K. (2009): Mountain timberlines. Ecology, Patchiness, and Dynamics. *Advances in global change research*. 36. Springer Netherlands, 437 str.
- CHALOUPSKÝ ET AL. (1989): Geologie Krkonoš a Jizerských hor. 1. vydání. Praha, Academia, 288 str.
- CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, J. (2011): Geologická minulost České republiky. 2. vydání. Praha: Academia, 436 str.
- JENÍK, J. (1961): Alpínská vegetace Krkonoš, Kralického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Teorie anemo-orografických systémů. Praha: Nakladatelství ČSAV, 412 str., 5 příloh
- KÖRNER, CH. (2003): Alpine plant life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. 2nd Edition. Springer, 344 str.
- KÖRNER, CH., PAULSEN, J. (2004): A World wide study of high altitude treeline temperatures. *Journals of Biogeography* 31, s. 713-732.
- KÖRNER, CH., (2007): Climatic treelines: Conventions, Global patterns, Causes. *Erdkunde* 61, s. 316-324.
- KÖRNER, CH. (2012): Treelines will be understood once the functional difference between tree and shrub is. *AMBIO* 41, 197-206.
- KRAUSE, C., ROSSI, S., THIBEAULT-MARTEL, M., Plourde, P-Y. (2010): *Ann. For. Sci.* 67, s. 402.
- KŘÍŽEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2007): Zákonitosti prostorového rozmístění periglaciálních tvarů v Krkonoších nad alpínskou hranicí lesa. In: Štursa, J., Knapík, R. (eds): Geoekologické problémy Krkonoš. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. Opera Corcontica, 44, 1, s. 67-79.
- KULLMAN, L. (2005): Wind conditioned 20th Century Decline of Birtch Treeline Vegetation in the Swedisch Scandes. *Arctic* 58, s. 286-294.
- KULLMAN, L. (2007): Treeline population monitoring of pinus sylvestris in the Swedisch Scandes, 1973-2005: implication for treeline theory and climate change ecology. *Journal of Ecology* 95, 41-52.
- KULLMAN, L., ÖBERG, L. (2009): Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedisch Scandes: a landscape ecological perspective. *Journal of Ecology* 97, s. 415-429.
- LEVANČIČ, T., GRIČAR, J., GOGEN, M., LOADER, N. J., MCCARROLL, D., OVEN, P., ROBERTSON, I. (2009). The climate sensitivity of Norway spruce in the southeastern European Alps. *Trees* 23, 169-180.
- LOKVENC, T. (2007): Budní hospodářství. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 491-501.
- LUPI, C., MORIN, H., DESLAURIERS, A., ROSSI, S. (2011): Xylogenesis in black spruce: does soil temperature matter? *Tree Physiology* 32, s. 74-82.
- METELKA, L., MRKVICA, Z., HALÁSKOVÁ, O. (2007): Podnebí. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 147-155.
- MIGOŇ, P., PILOUS, V. (2007): Geomorfologie. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 103-124.

- MOSER, L., FONTI, P., BÜNTGEN, U., ESPER, J., LUTERBACHER, J., FRANTZEN, J., FRANK, D. (2009): Timing and Duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps. *Tree Physiology* 30, s. 225-233.
- NETOPIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN, Praha, 272 s.
- NĚMEC, J., HLADNÝ, J. [eds.] (2006): Voda v České republice. 1. vyd., Praha: Consult, 256 str.
- NĚMEČEK, J., MÜHLHANSELOVÁ, m., MACKŮ, J., VOKOUN, J., VAVŘÍČEK, D., NOVÁK, P. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. vydání Praha, ČZU, 78 str.
- PALLARDY, J., STEPHEN, G. (2008): *Physiology of woody plants*. Amsterdam: Academic Press, 454 s.
- PALLERIN, M., DELESTRADE, A., MATHIEAU, G., RIGAULT, O., YACCOZ, N. G. (2012): Spring tree phenology in the Alps: effects of air temperature Altitude and local topography. *European Journal of Forest Research* 131, s. 1957-1965.
- PAULSEN, J., WEBER, V. M., KÖRNER, CH. (2000): The Growth near Treeline: Abrupt or Gradual Reduction with Altitude? *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 32, s. 14-20.
- PLAMÍNEK, J. (2007): Geologie. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 83-103.
- PODRÁZSKÝ, V., Vacek, S., Mikeska, M., Boček, M., Hejzman, M. (2007): Půdy. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s.135-147.
- POŠTA, P. (2005): Limnologická studie největšího jezera české strany Úpského rašeliniště v Krkonoších. *Opera Corcontica* 42, S. 55–68.
- POTOCKI, J., ŠTURSA, J. (2007): Historie ochrany přírody v Krkonoších. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 729-733.
- RATHBERGER, C. B. K., LONGUEHARD, F., MOTHE, F., CUNY, H., MOQUÉDEC, G. L. (2011): Phenology of wood formation – data procesing, analysis and visualisation using R. *Dendrochronologia* 29, s. 139-140.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., MORIN, H. (2003): Application of the Gompertz equation fot the study of xylem cell development. *Dendrochronologia* 21, s. 33-39.
- ROSSI, S., ANFODILLO, T., MINARDI, R. (2006a): Trephor: A new tool for sampling microcores from tree stems. *IAWA Journal* 27, s. 89 – 97.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T. (2006b): Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: An example at the alpine timberline. *IAWA Journal* 27, s. 383-394.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T., CARRARO, V. (2007): Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152, s. 1-12.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T., CARRER, M. (2008a): Age-dependent xylogenesis in timberline conifers. *New Phytologist* 177, s. 199-208.
- ROSSI, S., SIMARD, S., GRILLE, B. K., RATHBERGER, K., DESLAURIERS, A., ZAN, C.D. (2009): Effects of 20 day-long dry period on cambial seedlings. *Trees* 23,s. 85-93.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., GRIČAR, J., SEO, J-W., RATHBERGER, C. BK., ANFODILLO, T., MORIN, H., LEVANCIC, T., OVEN, P., JOLKONEN R. (2012): Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global ecology and Biogeography* 17, s. 696-707.

- SCHWARZ, O. (2009): Aktuální stav a management lesních ekosystémů v Krkonošském národním parku. In: Fanta, J., Křenová, Z. (eds.): Management lesů v českých národních parcích. Správa Národního parku Šumava, Vimperk, s. 16-24.
- SOUKUPOVÁ, L. KOCIÁNOVÁ, M., JENÍK, J., SEKYRA, J. (1995): Artic-alpine tundra in the Krkonoše, the Sudetes. *Opera Concorctica*, 32, s. 5-88.
- SPEER, J. H. (2010): *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson : University of Arizona Press, 333 s
- ŠTURSA, J. (2007): Prostorové uspořádání Krkonošské přírody. In: Kol.: Krkonoše. Příroda, historie, život. BASET, s. 291-293.
- THIBEAULT-MARTEL, M., KRAUSE, C., MORIN, H., ROSSI, S. (2008): Cambial Activity and Intra-annual Xylem Formation in Roots and Stem of *Abies Balsamea* and *Picea Mariana*. *Annals of Botany* 102, s. 667-674.
- TOMÁŠEK, M., ZUSKA, V. (1983): Půdní poměry. In: Sýkora, B. (eds): Krkonošský národní park. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, s. 59-63.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps*. New York: Springer Berlin Heidelberg, 131 str.
- VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., MIKESKA M., MOSER W. K.: (2003): Ohrožení půd introskeletovou erozí v horských lesích ČR: Introskeletal erosion threat in mountain forests of the Czech Republic. *Journal of Forest Science* 49, s. 313 – 332.
- VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V., MIKESKA, M., SCHWARZ, O., SIMON, J., BOČEK, M., MINX, T. (2006): Lesy a ekosystémy nad horní hranicí lesa v národních parcích Krkonoš. Lesnická práce, Praha, 112 str.
- VAGANOV, E.A., HUGHES, M.K., KIRDYANOV, A.V., SCHWEINGRUBER, F.H., SILKIN, P.P. (1999): Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature* 400, s. 149-151.
- VOTRUBOVÁ, O. (2010): *Anatomie rostlin*. Praha, nakladatelství Karolinum, 191 s.
- VRBA, J., FOTT, J., KOHOUT, L., KOPÁČEK J., MACEK, M., NEDBALOVÁ L. (2008): Limnological survey of the lakes Wielki Staw and Mały Staw in the Giant Mts. (Karkonosze). *Opera Concorctica* 45, S. 45–58.
- GEO portal. CENIA [online]. [cit. 2012-12-22]. Dostupné z: <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- Datalogger MicroLog T3. EMS Brno [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: [http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf\\_v\\_MicroLog\\_T3\\_u\\_pdf.jpg?ver=](http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_MicroLog_T3_u_pdf.jpg?ver=)
- Datalogger Minikin. EMS Brno [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: [http://www.emsbrno.cz/r.axd/ems\\_v\\_Minikin\\_u\\_pdf.jpg?ver=](http://www.emsbrno.cz/r.axd/ems_v_Minikin_u_pdf.jpg?ver=)
- Datalogger MicroLog SP3. EMS Brno [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: [http://www.emsbrno.cz/r.axd/ems\\_v\\_MicroLogSP3\\_u\\_pdf.jpg?ver=](http://www.emsbrno.cz/r.axd/ems_v_MicroLogSP3_u_pdf.jpg?ver=)
- Datalogger Minikin. EMS Brno [online]. [cit. 2013-01-12]. Dostupné z: [http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf\\_v\\_MicroLog\\_SP3\\_userman\\_u\\_pdf.jpg?ver=](http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_MicroLog_SP3_userman_u_pdf.jpg?ver=)
- Historická data: meteorologická stanice Pec pod Sněžkou 2011. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2013-03-5]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_9\\_Mesicni\\_data&nc=1&portal\\_lang=cs#PP\\_Mesicni\\_data](http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_9_Mesicni_data&nc=1&portal_lang=cs#PP_Mesicni_data)
- Historická data: meteorologická stanice Pec pod Sněžkou 2012. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2013-03-5]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=>

JSPTabContainer/P4\_Historicka\_data/P4\_1\_Pocasi/P4\_1\_9\_Mesicni\_data&nc=1&  
portal\_lang=cs#PP\_Mesicni\_data

## LITERATURA

## PŘÍLOHY

*Příloha 1: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „AHL“ v průběhu vegetačního období 2011, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.*

Datum	Den v roce	Počet buněk v jednotlivých fázích											
		nc min	nc max	nc	newm min	newm max	newm	nwm min	nwm max	nwm	nm min	nm max	nm
11. 04. 11	100	7,00	7,67	7	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
19. 04. 11	108	7,18	8,08	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
25. 04. 11	114	7,88	9,37	9	1,26	2,02	2	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
05. 05. 11	124	10,74	12,59	12	1,89	2,30	2	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
14. 05. 11	133	12,82	14,33	14	2,81	3,55	3	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
25. 05. 11	144	13,59	15,30	14	4,60	5,99	5	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
02. 06. 11	152	14,12	18,44	16	8,28	12,92	11	0,35	0,98	1	0,00	0,00	0
09. 06. 11	159	10,62	15,10	13	13,47	16,98	15	1,97	4,89	3	0,00	0,00	0
21. 06. 11	171	9,79	13,54	12	25,78	30,29	28	14,92	19,81	17	2,37	5,04	4
29. 06. 11	179	9,24	11,17	10	34,08	43,90	39	25,00	32,88	29	7,97	14,25	11
08. 07. 11	188	8,58	12,08	10	38,22	45,48	42	29,05	36,10	33	16,00	19,89	18
18. 07. 11	198	7,20	9,28	8	40,74	66,20	53	35,01	58,46	47	24,78	43,98	34
28. 07. 11	208	5,44	7,56	7	48,13	56,28	52	43,24	52,02	48	35,80	44,45	40
04. 08. 11	215	6,73	8,53	8	47,37	55,22	51	43,32	51,50	47	34,04	42,18	38
15. 08. 11	226	5,36	6,19	6	51,17	57,58	54	50,50	56,64	54	46,57	53,65	50
23. 08. 11	234	5,62	7,26	6	56,54	68,25	62	56,43	68,19	62	55,78	67,73	62
31. 08. 11	242	5,96	6,61	6	47,09	59,17	53	47,09	59,17	53	47,09	59,17	53

## LITERATURA

*Příloha 2: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „skupinky“ v průběhu vegetačního období 2011, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.*

Datum	Den v roce	Počet buněk v jednotlivých fázích											
		nc min	nc max	nc	newm min	newm max	newm	nwm min	nwm max	nwm	nm min	nm max	nm
11. 04. 11	100	6,38	7,70	7	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
19. 04. 11	108	6,73	8,68	8	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
25. 04. 11	114	7,18	8,52	8	0,83	1,52	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
05. 05. 11	124	7,35	8,43	8	1,09	1,84	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
14. 05. 11	133	11,09	14,32	13	1,13	1,86	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
25. 05. 11	144	10,39	13,01	12	2,88	4,58	4	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
02. 06. 11	152	11,77	14,90	13	8,53	11,22	10	0,68	2,20	1	0,00	0,00	0
09. 06. 11	159	9,80	13,16	11	7,07	9,69	8	0,34	1,27	1	0,00	0,00	0
21. 06. 11	171	9,08	11,59	10	18,32	22,98	21	9,14	15,16	12	1,25	4,76	3
29. 06. 11	179	9,51	13,16	11	28,14	34,54	31	17,97	24,66	21	4,03	10,28	7
08. 07. 11	188	7,38	9,38	8	22,63	33,63	28	16,73	25,83	21	6,81	13,79	10
18. 07. 11	198	6,30	8,03	7	35,85	49,05	42	30,36	43,42	37	18,01	27,82	23
28. 07. 11	208	4,68	5,47	5	36,15	48,37	42	32,16	44,01	38	25,82	36,72	31
04. 08. 11	215	5,13	5,92	6	40,82	57,77	49	38,19	53,94	46	33,15	48,23	41
15. 08. 11	226	5,31	6,31	6	49,89	83,33	67	48,93	82,63	66	47,61	81,69	65
23. 08. 11	234	5,69	6,56	6	37,38	47,17	42	37,31	47,06	42	37,23	47,00	42
31. 08. 11	242	5,43	5,90	6	33,06	42,47	38	33,06	42,47	38	33,06	42,47	38

## LITERATURA

*Příloha 3: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „AHL“ v průběhu vegetačního období 2012, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.*

Datum	Den v roce	Počet buněk v jednotlivých fázích											
		nc min	nc max	nc	newm min	newm max	newm	nwm min	nwm max	nwm	nm min	nm max	nm
26. 4. 12	116	5,77	7,67	7	0,43	1,09	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
7. 5. 12	127	5,35	5,99	6	0,88	1,58	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
18. 5. 12	138	6,65	9,57	8	1,59	2,40	2	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
29. 5. 12	149	7,55	9,65	9	3,57	4,55	4	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
7. 6. 12	158	10,85	15,15	13	5,36	8,65	7	0,08	0,69	0	0,00	0,00	0
16. 6. 12	167	10,20	13,46	12	9,53	14,73	12	0,85	2,43	2	0,00	0,00	0
26. 6. 12	177	7,44	9,78	9	20,31	22,36	21	10,09	12,66	11	2,24	4,31	3
4. 7. 12	185	8,58	12,25	10	27,03	32,67	30	18,70	21,69	20	9,46	12,93	11
12. 7. 12	193	6,93	8,96	8	33,63	40,63	37	23,26	29,48	26	17,80	22,25	20
20. 7. 12	201	7,16	8,84	8	39,40	44,81	42	31,74	36,23	34	25,64	27,31	26
26. 7. 12	207	6,15	7,45	7	38,93	44,89	42	31,61	37,04	34	25,34	28,57	27
3. 8. 12	215	5,17	7,38	6	45,12	53,53	49	39,97	49,24	45	35,79	43,55	40
10. 8. 12	222	4,74	6,33	6	48,79	66,01	57	45,75	61,01	53	42,30	56,32	49
20. 8. 12	232	5,60	6,73	6	63,57	80,83	72	61,33	77,80	70	58,63	72,42	66
30. 8. 12	242	5,64	6,80	6	66,08	94,40	80	65,33	93,58	79	64,52	92,31	78
6. 9. 12	249	5,38	5,82	6	52,72	64,96	59	52,72	64,96	59	52,58	64,87	59
18. 9. 12	261	6,33	7,13	7	46,54	56,21	51	46,54	56,21	51	46,54	56,21	51

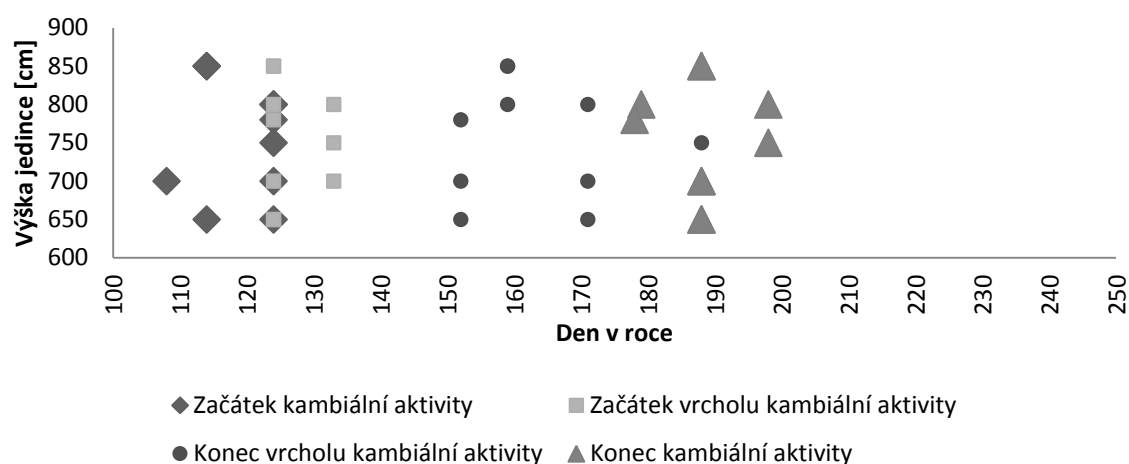
## LITERATURA

*Příloha 4: Průměrné počty buněk v jednotlivých fázích na lokalitě „skupinky“ v průběhu vegetačního období 2012, hodnota min reprezentuje minimální hodnotu počtu buněk, která je dána rozdílem konkrétní hodnoty a poloviční hodnoty směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu, hodnota max reprezentuje součet konkrétní hodnoty počtu buněk a jedné poloviny směrodatné odchylky od průměru v konkrétním termínu.*

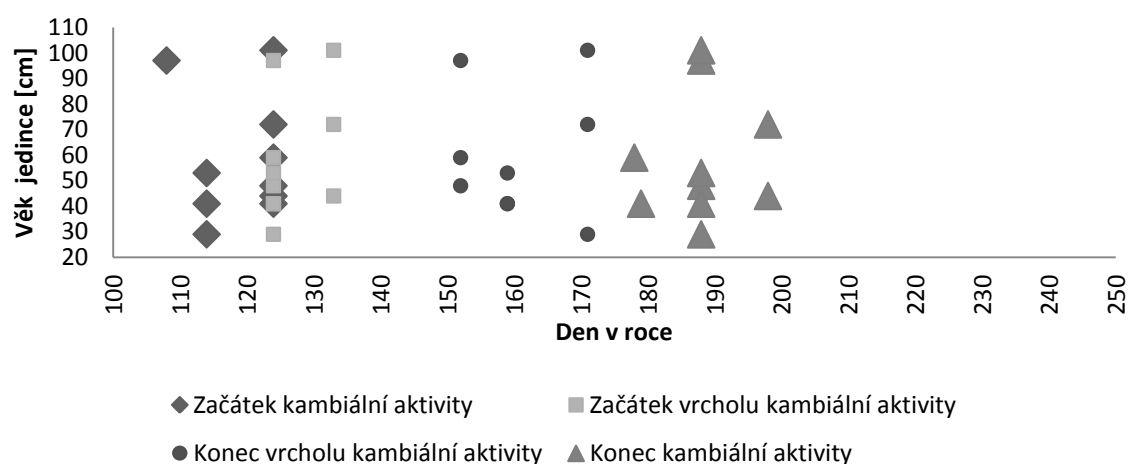
Datum	Den v roce	Počet buněk v jednotlivých fázích											
		nc min	nc max	nc	newm min	newm max	newm	nwm min	nwm max	nwm	nm min	nm max	nm
26. 4. 12	116	5,30	5,92	6	-0,01	0,11	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
7. 5. 12	127	5,95	6,27	6	0,04	0,31	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
18. 5. 12	138	6,65	7,46	7	0,95	1,25	1	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
29. 5. 12	149	8,88	11,35	10	3,02	3,78	3	-0,01	0,12	0	0,00	0,00	0
7. 6. 12	158	7,93	9,94	9	9,05	12,41	11	0,67	2,24	1	0,00	0,00	0
16. 6. 12	167	7,83	11,95	10	10,12	12,29	11	2,52	4,80	4	0,09	0,53	0
26. 6. 12	177	6,93	8,96	8	18,09	21,06	20	11,19	12,68	12	4,42	6,31	5
4. 7. 12	185	6,72	8,50	8	27,93	32,89	30	19,64	23,09	21	13,93	16,30	15
12. 7. 12	193	6,17	7,50	7	31,33	42,11	37	23,77	30,78	27	18,25	24,34	21
20. 7. 12	201	6,55	7,01	7	35,83	42,23	39	28,73	34,48	32	23,43	28,81	26
26. 7. 12	207	6,74	7,93	7	50,87	77,02	64	45,22	68,60	57	38,28	61,14	50
3. 8. 12	215	4,34	5,10	5	44,74	55,88	50	42,30	53,70	48	39,18	50,24	45
10. 8. 12	222	4,29	4,82	5	53,34	80,63	67	51,55	78,94	65	49,09	75,97	63
20. 8. 12	232	5,41	5,92	6	41,72	49,18	45	41,30	48,60	45	39,65	47,00	
30. 8. 12	242	5,40	6,16	6	40,02	54,16	47	40,02	54,16	47	40,02	54,16	47
6. 9. 12	249	5,65	6,02	6	40,88	54,45	48	40,88	54,45	48	40,88	54,45	48



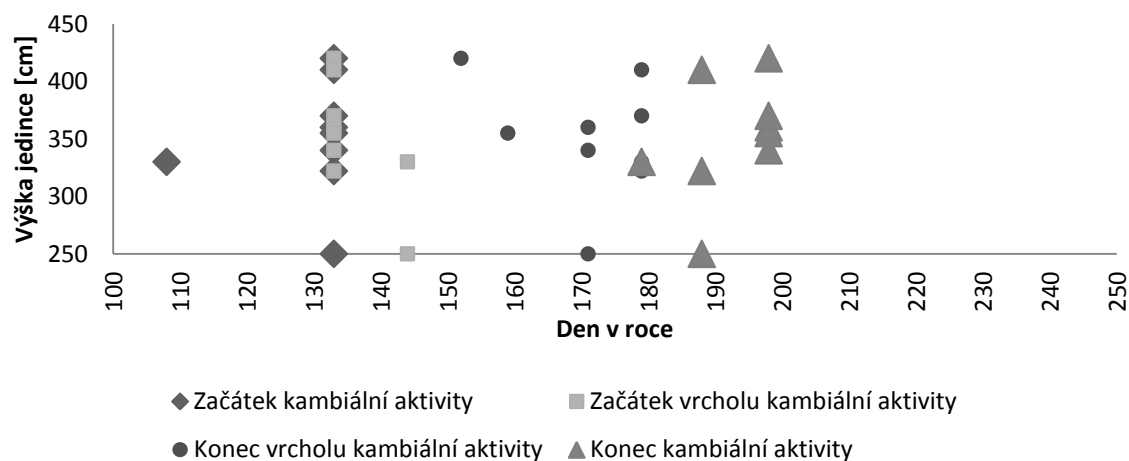
*Příloha 5: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011.*



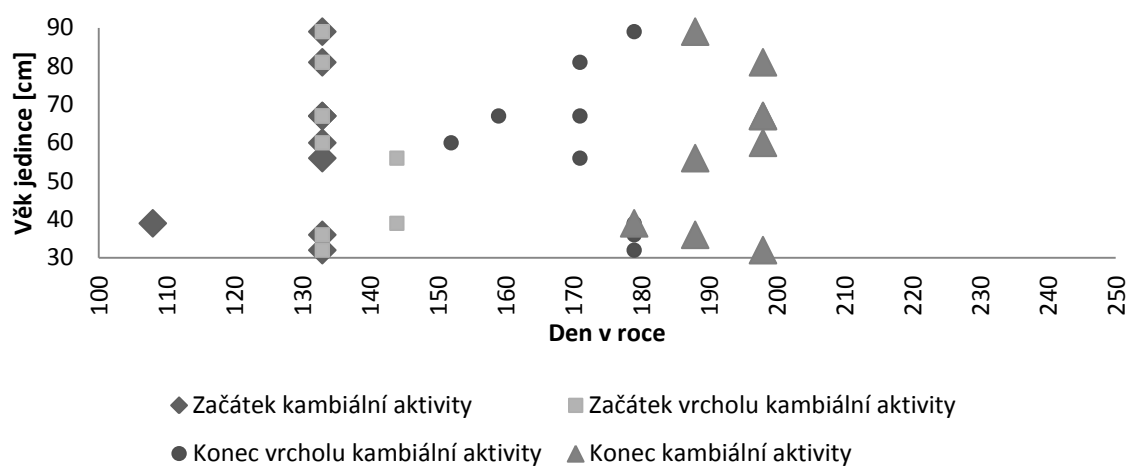
*Příloha 6: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2011.*



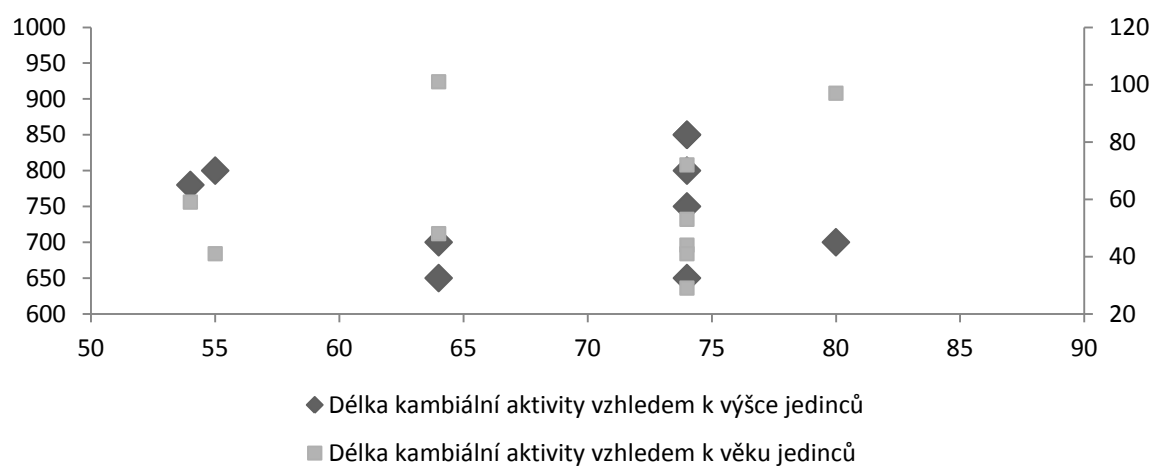
*Příloha 7: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011.*



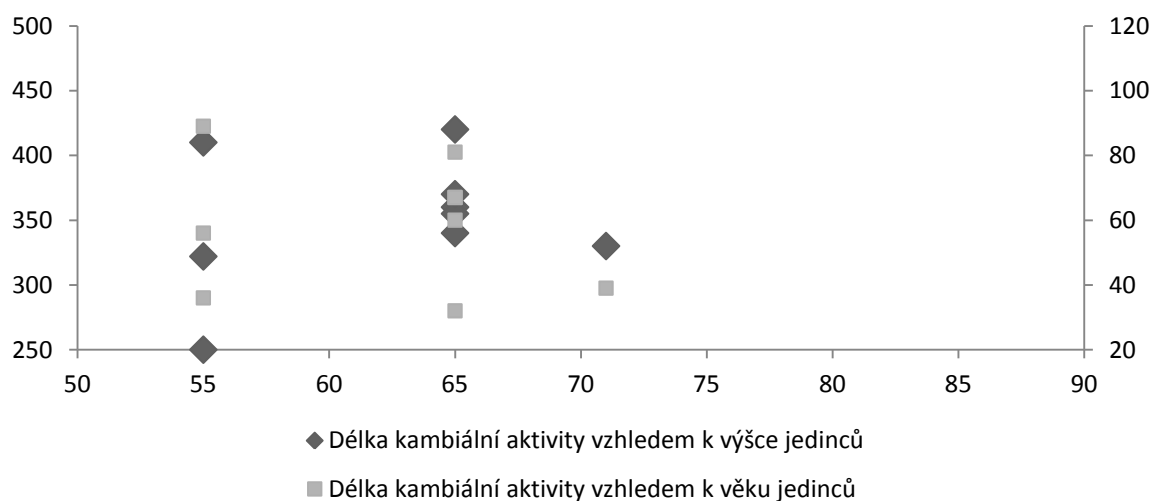
*Příloha 8: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2011.*



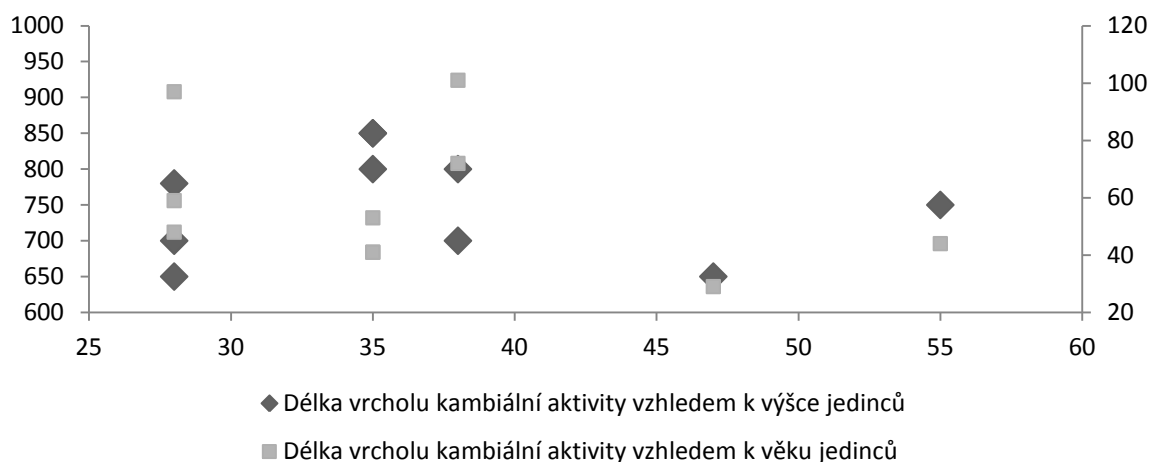
*Příloha 9: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



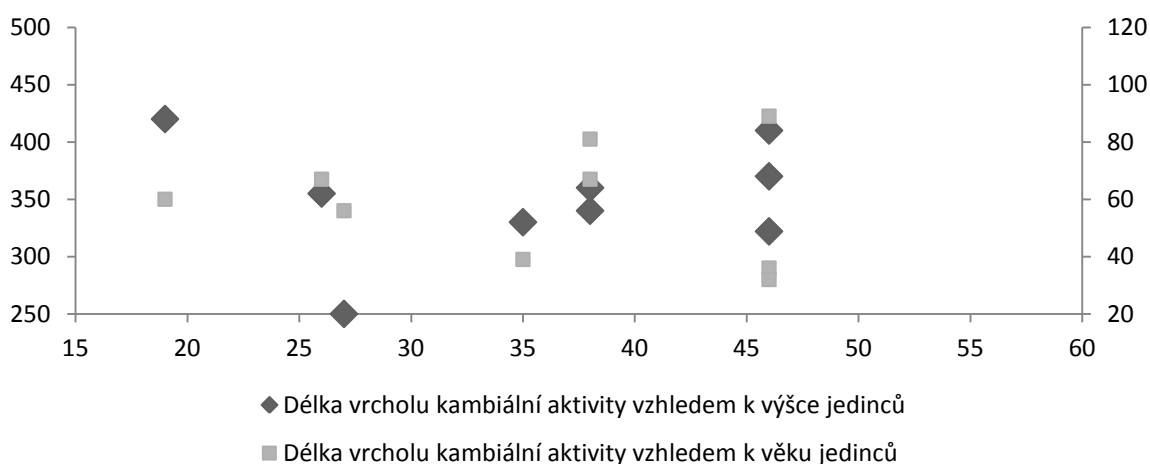
*Příloha 10: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



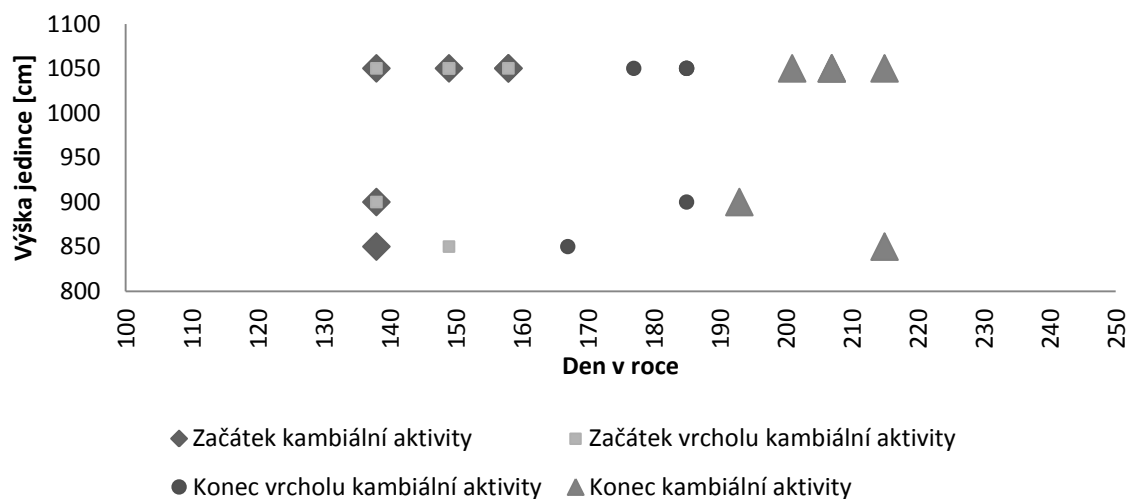
*Příloha 11: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



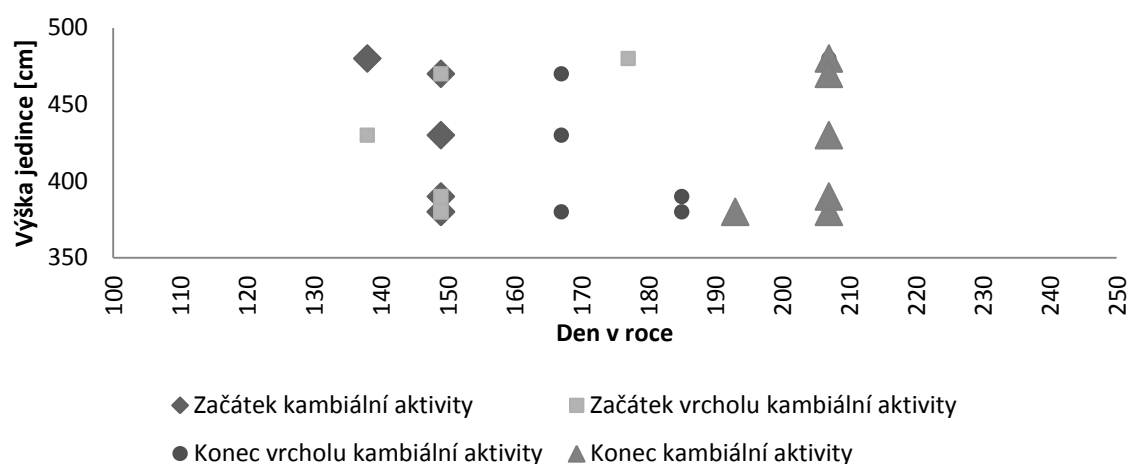
*Příloha 12: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2011 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



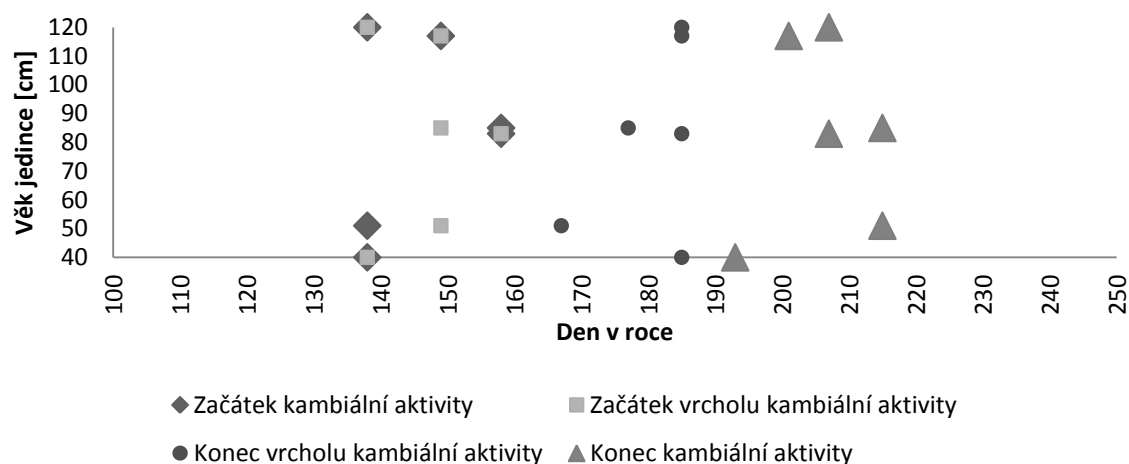
*Příloha 13: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012.*



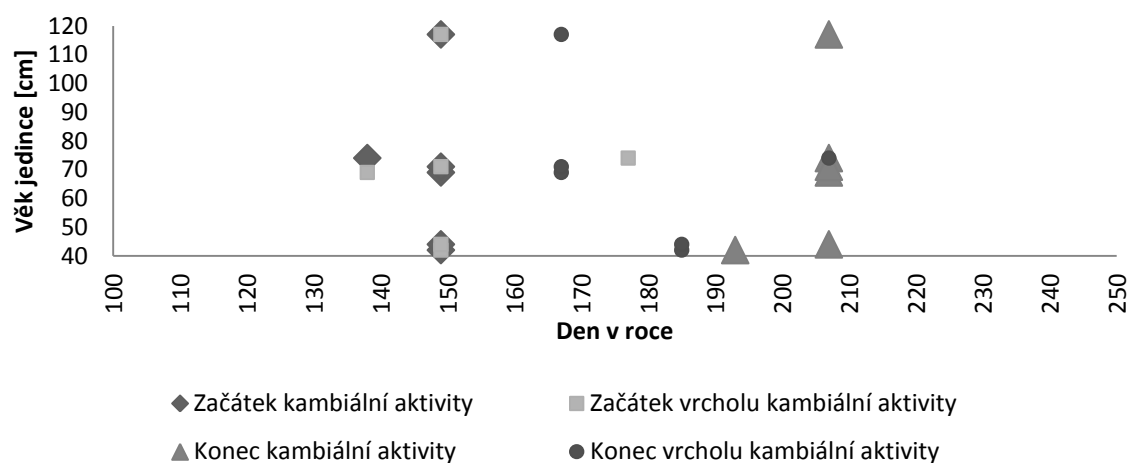
*Příloha 14: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k výšce sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2012.*



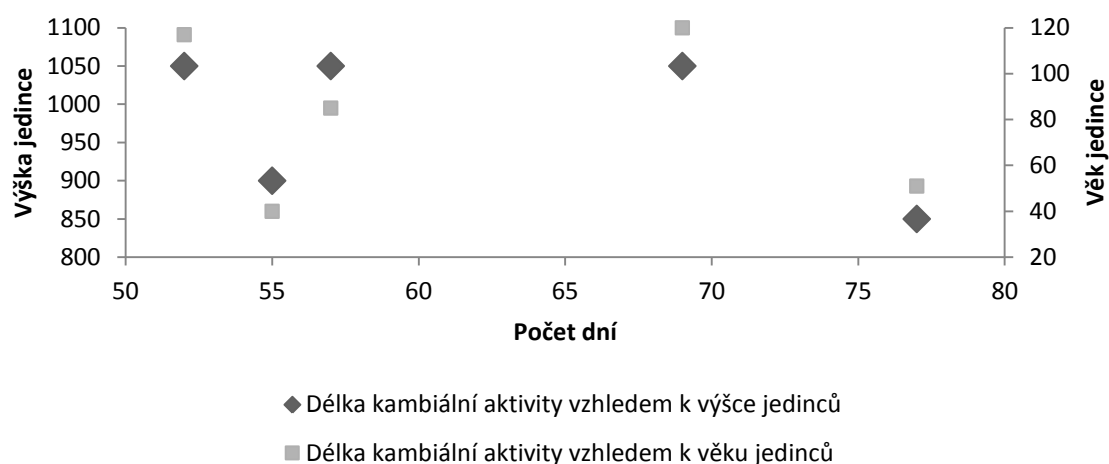
*Příloha 15: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „AHL“ v růstovém období 2012.*



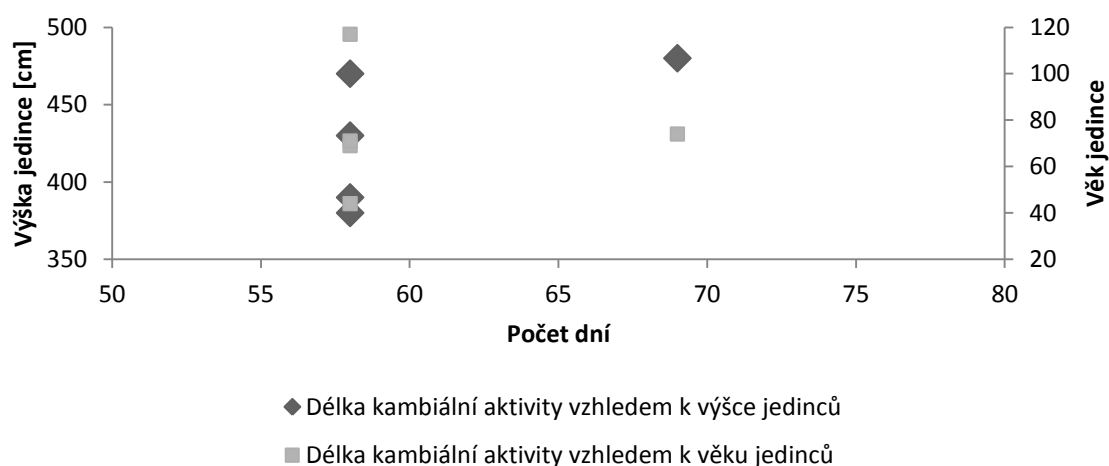
*Příloha 16: Začátek, začátek vrcholu, konec vrcholu a konec období kambiální aktivity ve vztahu k věku sledovaných jedinců na lokalitě „skupinky“ v růstovém období 2012.*



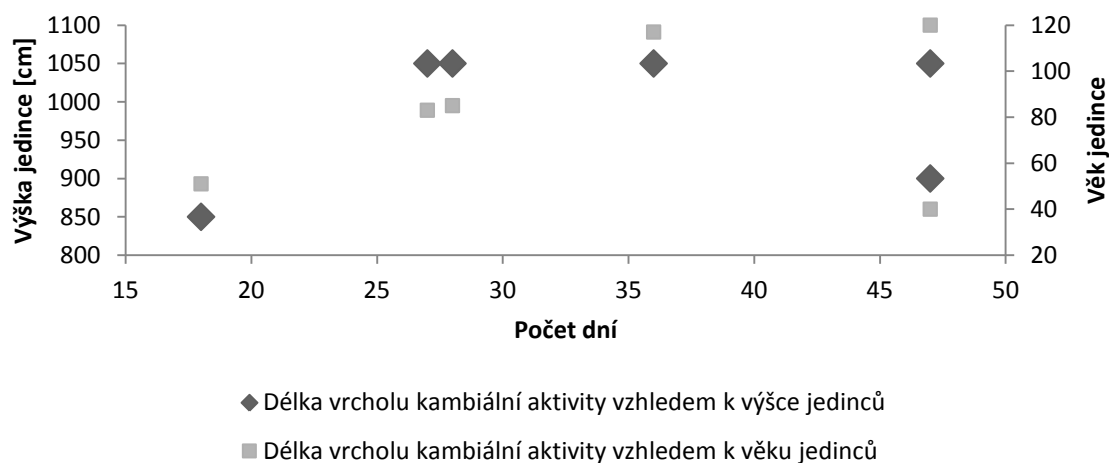
*Příloha 17: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



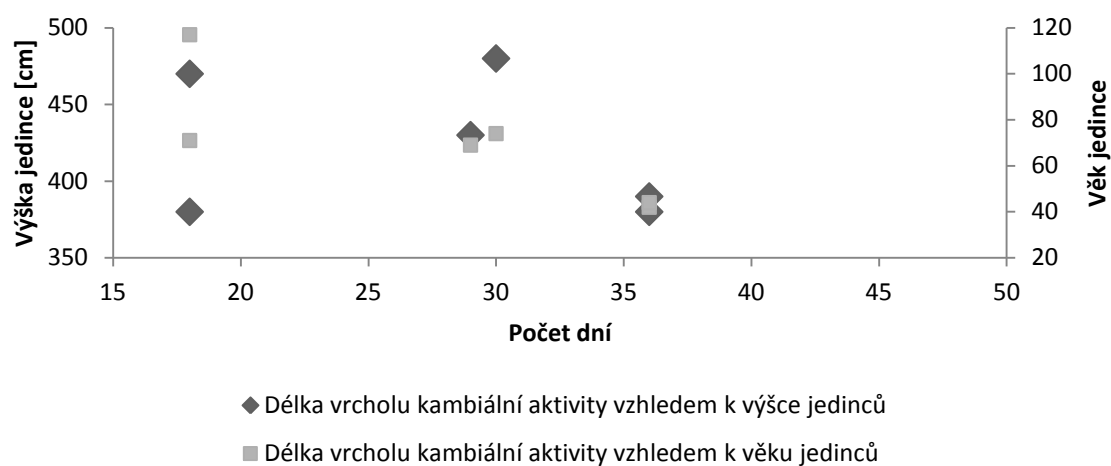
*Příloha 18: Délka kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



*Příloha 19: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „AHL“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*

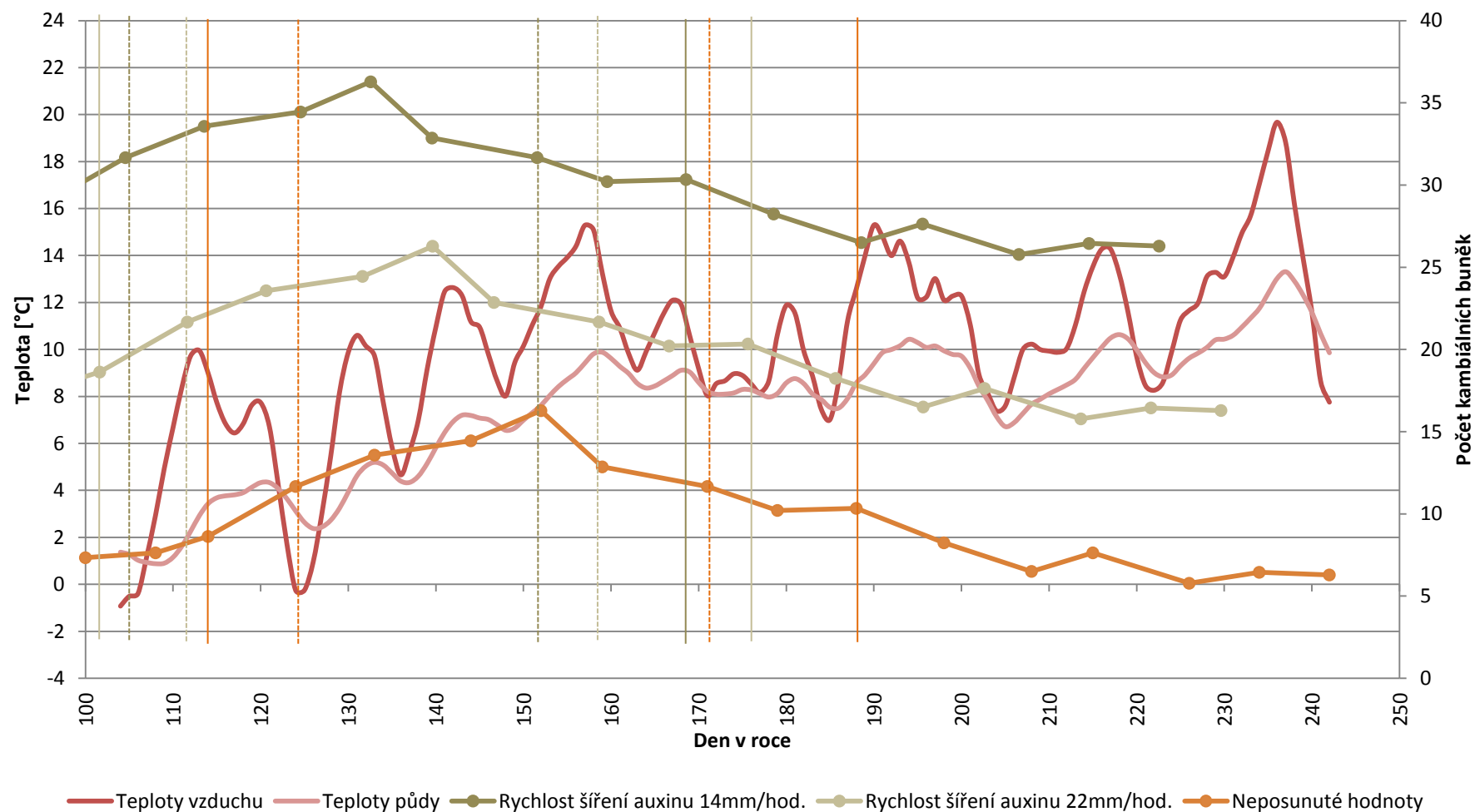


*Příloha 20: Délka vrcholu kambiální aktivity pozorovaná na lokalitě „skupinky“ ve vegetačním období 2012 ve vztahu k výšce a věku jedinců.*



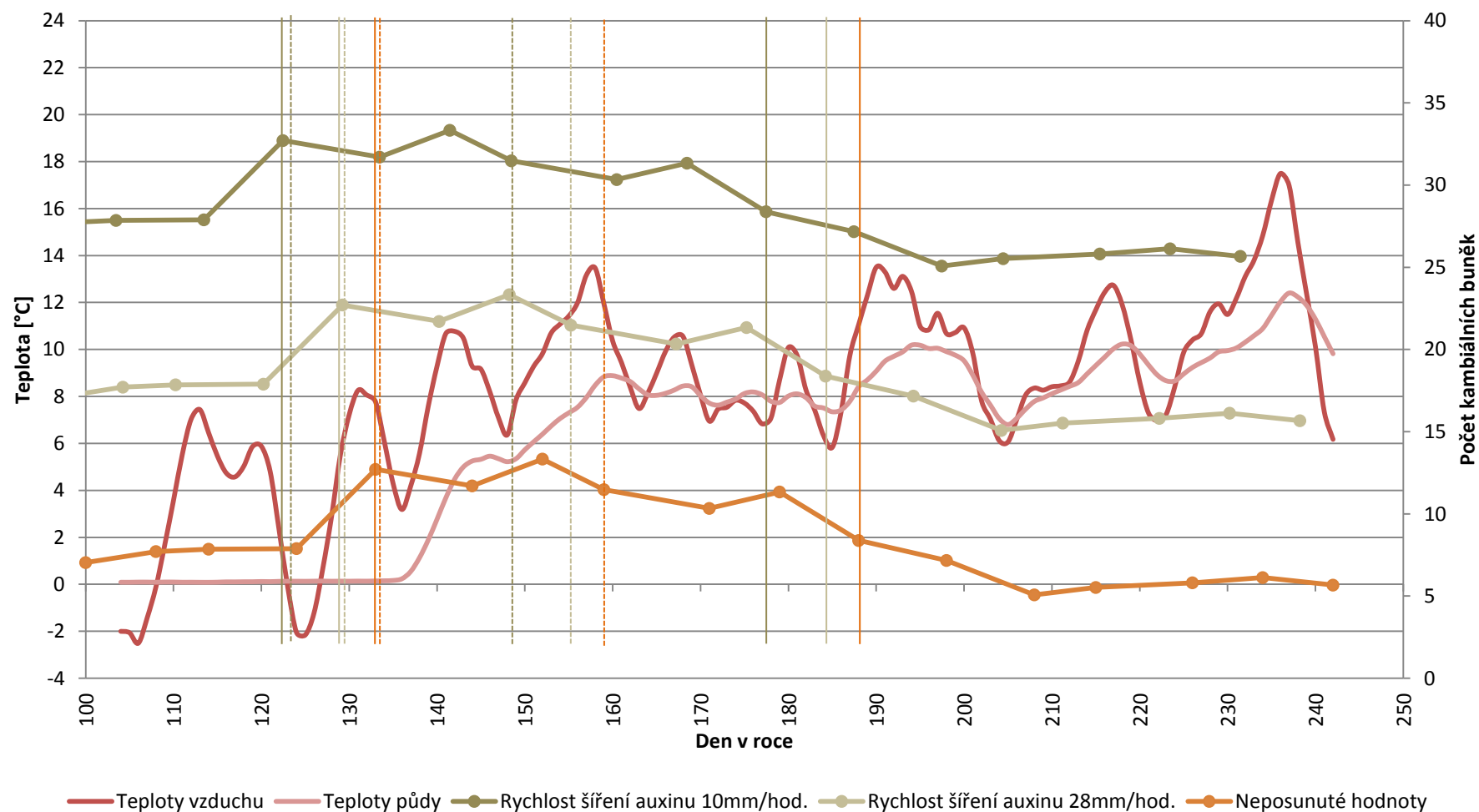
## LITERATURA

*Příloha 21: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "AHL" v sezóně 2011. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20.*



## LITERATURA

Příloha 22: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "skupinky" v sezóně 2011. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20.





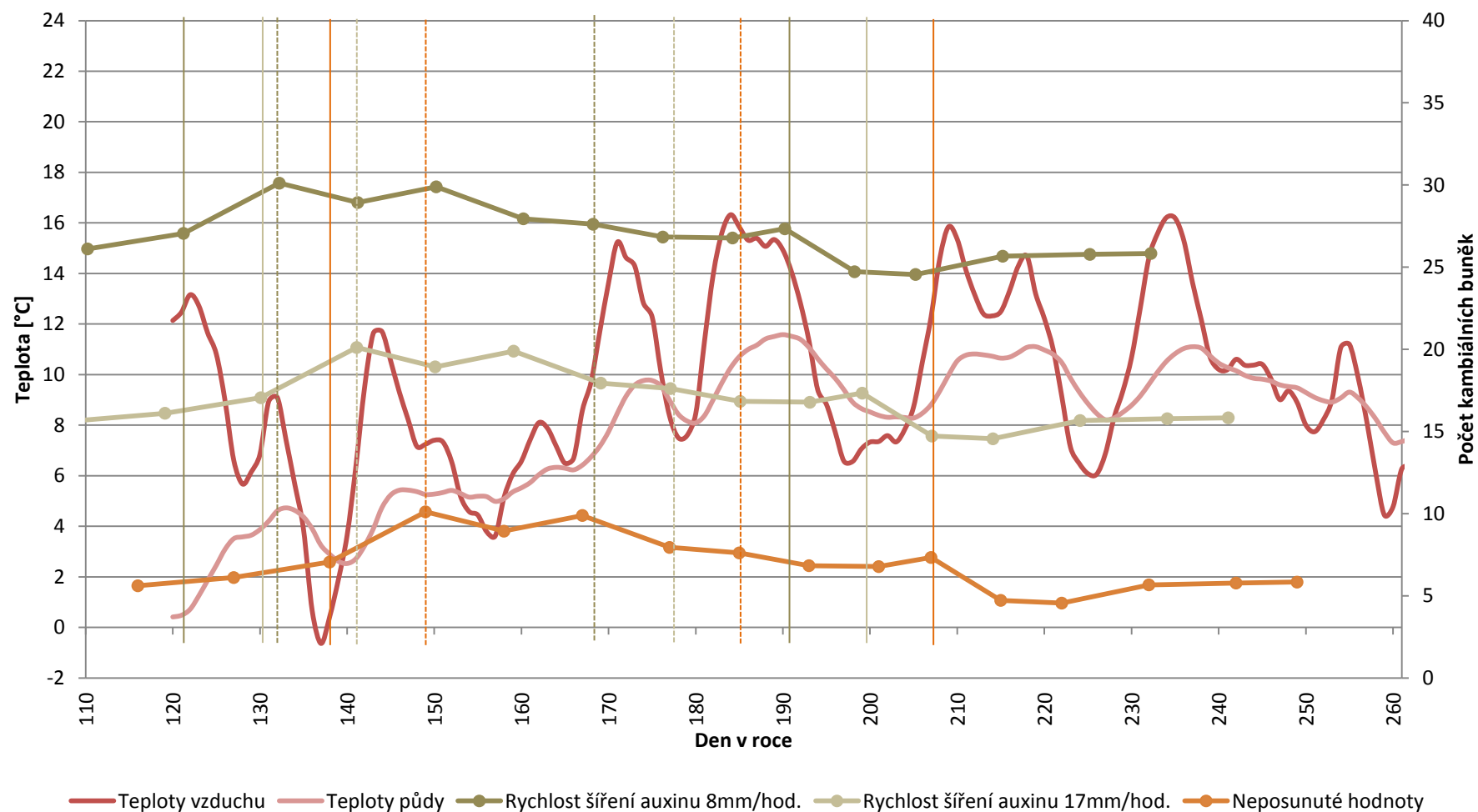
## LITERATURA

Příloha 23: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "AHL" v sezóně 2012. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20.



## LITERATURA

Příloha 24: Průběh kambiální aktivity ve vztahu ke zpoždění reakce na teplotní poměry způsobené bazipetálním šířením auxinu ze vzrostného vrcholu na lokalitě "skupinky" v sezóně 2012. Posunutí křivek odpovídá zpoždění, danému bazipetálním šířením auxinu. Křivky, u nichž je pozorováno zpoždění mají navýšený počet kambiálních buněk o 10 resp. 20.



## LITERATURA

*Příloha 25: Průměrné teploty v pěti předcházejících dnech, kdy byly v sezóně 2011 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období.*

		Začátek fáze			Začátek vrcholu fáze			Konec vrcholu fáze			Konec fáze		
		avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	půda	3,4	2,8	4,6	3,1	2,3	3,7	8,2	7,4	9,0	8,6	7,9	9,5
	vzduch	9,0	5,2	14,5	-0,3	-3,3	3,7	8,0	5,3	10,7	12,6	9,7	16,0
	koruna	8,6	4,7	14,1	0,2	-3,1	3,5	8,1	5,4	10,5	12,2	9,5	15,6
Kambiální aktivita na lokalitě "skupinky"	půda	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	8,8	8,4	9,8	8,4	8,2	8,9
	vzduch	7,8	3,5	12,6	7,8	3,5	12,6	11,9	8,4	16,9	11,1	8,5	14,4
	koruna	7,9	3,1	14,3	7,9	3,1	14,3	12,0	8,0	18,3	11,3	8,4	15,7
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	půda	3,4	2,8	4,6	7,6	6,9	9,0	8,6	7,9	9,5	9,6	9,1	10,2
	vzduch	9,0	5,2	14,5	11,8	7,1	17,6	12,6	9,7	16,0	11,7	9,3	14,9
	koruna	8,6	4,7	14,1	11,5	7,0	17,3	12,2	9,5	15,6	11,4	9,0	14,6
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	půda	0,1	0,1	0,1	6,4	6,1	7,0	8,4	8,2	8,9	9,2	8,8	9,7
	vzduch	6,4	3,2	10,6	9,8	5,8	15,3	11,1	8,5	14,4	10,4	8,2	13,5
	koruna	6,8	2,8	14,4	10,0	5,2	17,0	11,3	8,4	15,7	10,4	8,1	13,7
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	půda	7,6	6,9	9,0	8,2	7,4	9,0	8,6	7,9	9,5	11,7	10,8	13,3
	vzduch	11,8	7,1	17,6	8,0	5,3	10,7	12,6	9,7	16,0	17,0	13,4	21,8
	koruna	11,5	7,0	17,3	8,1	5,4	10,5	12,2	9,5	15,6	16,5	13,2	21,7
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	půda	6,4	6,1	7,0	7,7	7,3	8,5	7,8	7,0	8,3	9,2	8,8	9,7
	vzduch	9,8	5,8	15,3	6,9	4,6	9,5	8,4	6,1	11,1	10,4	8,2	13,5
	koruna	10,0	5,2	17,0	7,0	4,2	10,1	8,6	6,0	11,7	10,4	8,1	13,7
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	půda	8,2	7,4	9,0									
	vzduch	8,0	5,3	10,7									
	koruna	8,1	5,4	10,5									
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	půda	7,7	7,3	8,5									
	vzduch	6,9	4,6	9,5									
	koruna	7,0	4,2	10,1									

## LITERATURA

*Příloha 26: Průměrné teploty v pěti předcházejících dnech, kdy byly v sezóně 2012 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období.*

		Začátek fáze			Začátek vrcholu fáze			Konec vrcholu fáze			Konec fáze		
		avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	půda	3,1	2,6	3,6	6,5	6,2	7,0	11,8	10,9	12,7	9,4	8,7	10,4
	vzduch	1,9	-1,3	5,9	9,1	5,5	13,8	17,0	12,6	21,4	14,0	9,6	19,4
	koruna	1,9	-1,1	5,8	8,9	5,4	13,8	16,6	12,6	20,5	13,4	9,4	18,7
Kambiální aktivita na lokalitě "skupinky"	půda	2,9	2,7	3,2	5,3	4,9	5,8	10,7	10,3	11,3	8,8	8,4	9,4
	vzduch	0,4	-2,6	4,4	7,2	4,3	10,9	15,8	11,5	20,7	12,3	8,0	17,7
	koruna	0,3	-2,9	4,3	7,2	3,8	12,5	15,5	11,1	21,4	12,0	7,5	18,3
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	půda	4,1	3,8	4,5	9,4	8,7	10,4	9,4	8,7	10,4	11,2	10,5	12,0
	vzduch	8,0	5,3	11,9	14,0	9,6	19,4	14,0	9,6	19,4	12,1	8,6	16,3
	koruna	7,6	5,0	11,4	13,4	9,4	18,7	13,4	9,4	18,7	11,7	8,5	16,5
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	půda	3,1	2,6	3,6	9,0	8,5	9,6	8,8	8,4	9,4	10,2	9,8	10,7
	vzduch	1,9	-1,3	5,9	8,4	5,7	11,7	12,3	8,0	17,7	10,6	7,2	14,6
	koruna	1,9	-1,1	5,8	8,1	5,4	12,2	12,0	7,5	18,3	10,4	7,2	14,8
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	půda	7,1	6,6	7,8	10,6	9,8	11,7	11,4	11,0	12,0	10,6	10,0	11,2
	vzduch	10,0	6,7	14,1	12,8	9,4	16,5	14,0	10,9	17,5	10,5	7,7	14,4
	koruna	9,5	6,5	13,6	12,6	9,2	16,6	13,5	10,5	17,3	10,2	7,5	14,2
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	půda	5,1	4,6	5,7	11,1	10,6	11,5	10,5	10,2	10,9	10,2	9,8	10,7
	vzduch	5,1	1,5	9,1	11,3	8,1	15,6	9,1	6,6	12,1	10,6	7,2	14,6
	koruna	5,0	1,3	9,3	11,1	7,6	15,7	9,0	6,4	12,3	10,4	7,2	14,8
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	půda	10,6	9,8	11,7									
	vzduch	12,8	9,4	16,5									
	koruna	12,6	9,2	16,6									
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	půda	11,1	10,6	11,5									
	vzduch	11,3	8,1	15,6									
	koruna	11,1	7,6	15,7									

## LITERATURA

*Příloha 27: Průměrné teploty v intervalech mezi jednotlivými odběry, kdy byly v sezóně 2011 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období.*

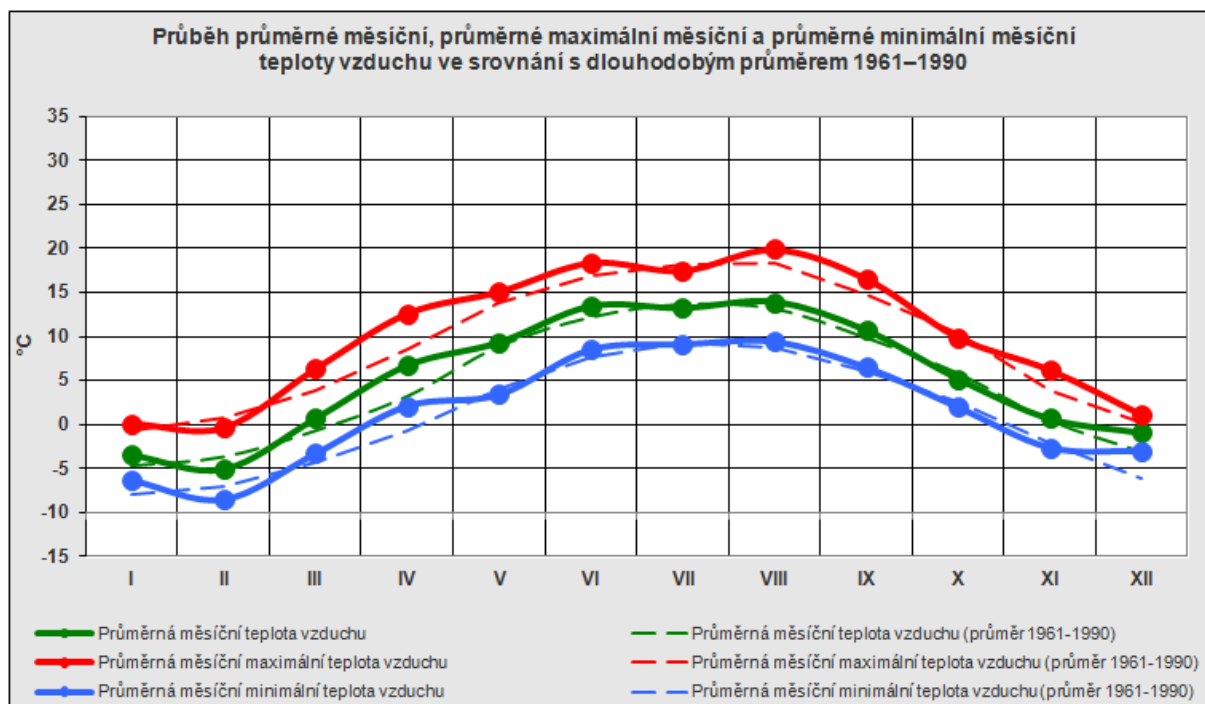
		Začátek fáze			Začátek vrcholu fáze			Konec vrcholu fáze			Konec fáze		
		avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	půda	2,6	1,8	3,8	3,8	3,2	4,5	8,6	7,9	9,3	8,2	7,0	9,4
	vzduch	9,4	5,1	15,4	4,3	1,1	8,5	9,7	6,8	13,0	10,4	7,0	13,7
	koruna	8,6	4,3	14,7	4,4	1,3	8,5	9,4	6,5	12,8	10,1	6,9	13,5
Kambiální aktivita na lokalitě "skupinky"	půda	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	8,0	7,6	8,8	7,9	7,3	8,7
	vzduch	5,4	1,1	10,5	5,4	1,1	10,5	12,2	8,3	17,4	8,9	5,8	12,1
	koruna	5,7	0,9	13,9	5,7	0,9	13,9	12,4	8,1	19,4	9,0	5,6	13,1
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	půda	2,6	1,8	3,8	7,1	6,4	8,3	8,2	7,0	9,4	9,7	9,0	10,5
	vzduch	9,4	5,1	15,4	10,1	5,6	15,4	10,4	7,0	13,7	11,1	8,9	14,0
	koruna	8,6	4,3	14,7	9,9	5,5	15,3	10,1	6,9	13,5	10,9	8,7	13,8
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	půda	0,1	0,1	0,1	5,8	5,5	6,3	7,9	7,3	8,7	9,4	9,0	10,0
	vzduch	6,8	2,8	11,5	8,4	4,3	13,6	8,9	5,8	12,1	9,8	7,7	12,6
	koruna	7,2	2,5	15,9	8,6	3,9	15,4	9,0	5,6	13,1	9,8	7,5	12,8
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	půda	7,1	6,4	8,3	8,6	7,9	9,3	8,2	7,0	9,4	10,6	9,9	11,5
	vzduch	10,1	5,6	15,4	9,7	6,8	13,0	10,4	7,0	13,7	13,8	10,0	17,9
	koruna	9,9	5,5	15,3	9,4	6,5	12,8	10,1	6,9	13,5	13,4	9,7	17,7
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	půda	5,8	5,5	6,3	8,2	7,8	8,7	8,0	7,1	8,8	9,4	9,0	10,0
	vzduch	8,4	4,3	13,6	8,2	5,5	11,4	7,7	5,3	11,0	9,8	7,7	12,6
	koruna	8,6	3,9	15,4	8,3	5,2	12,5	7,8	5,4	11,3	9,8	7,5	12,8
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	půda	8,6	7,9	9,3									
	vzduch	9,7	6,8	13,0									
	koruna	9,4	6,5	12,8									
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	půda	8,2	7,8	8,7									
	vzduch	8,2	5,5	11,4									
	koruna	8,3	5,2	12,5									

## LITERATURA

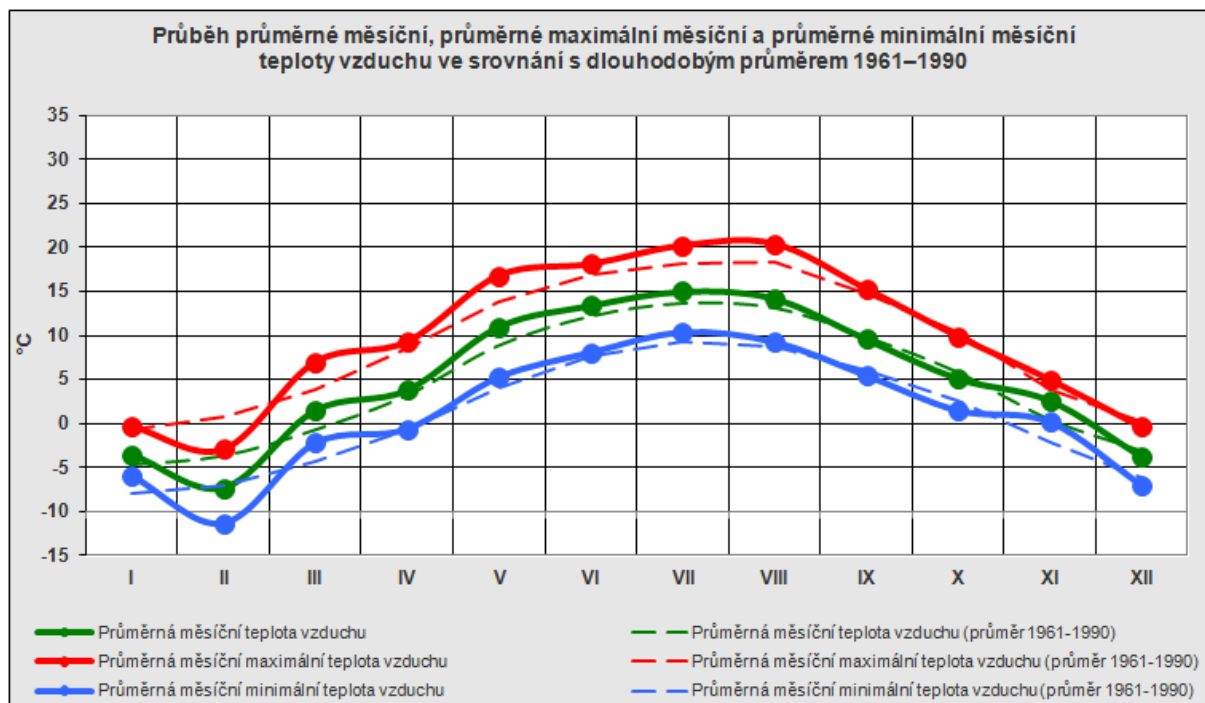
*Příloha 28: Průměrné teploty v intervalech mezi jednotlivými odběry, kdy byly v sezóně 2012 poprvé pozorovány buňky v příslušných fázích. Teploty jsou uvedeny ve stupních celsia, kdy (avg) je průměrná hodnota pozorovaná v intervalu, (min) je průměrná minimální teplota mezi jednotlivými odběry a (max) je průměrná maximální teplota pozorovaná v daném období.*

		Začátek fáze			Začátek vrcholu fáze			Konec vrcholu fáze			Konec fáze		
		avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max
Kambiální aktivita na lokalitě "AHL"	půda	6,0	5,5	6,7	5,9	5,4	6,4	11,5	10,7	12,5	11,5	11,1	12,2
	vzduch	10,5	6,1	16,2	6,1	2,9	9,8	15,4	11,6	19,8	15,4	11,9	19,3
	koruna	10,2	6,0	16,0	6,0	2,9	9,9	14,7	11,3	19,2	14,9	11,5	19,2
Kambiální aktivita na lokalitě "skupinky"	půda	4,4	3,8	5,2	5,2	4,8	5,7	11,4	11,0	11,9	10,7	10,4	11,2
	vzduch	8,8	4,7	13,3	4,8	1,5	8,5	14,0	10,4	18,8	13,8	10,6	18,2
	koruna	8,7	4,3	15,1	4,7	1,4	8,8	13,7	10,0	19,0	13,6	9,9	18,6
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "AHL"	půda	2,23	1,92	2,61	10,1	9,3	11,0	11,5	11,1	12,2	11,0	10,5	11,6
	vzduch	12,6	9,36	17,4	14,1	10,1	18,3	15,4	11,9	19,3	11,4	8,6	15,4
	koruna	11,3	8,38	16,1	13,6	10,0	17,8	14,9	11,5	19,2	11,2	8,5	15,3
Fáze zvětšování buněk na lokalitě "skupinky"	půda	6,0	5,5	6,7	9,3	8,8	10,0	10,7	10,4	11,2	9,7	9,4	10,2
	vzduch	10,5	6,1	16,2	12,8	8,9	17,0	13,8	10,6	18,2	9,9	7,2	13,5
	koruna	10,2	6,0	16,0	12,6	8,6	17,8	13,6	9,9	18,6	9,7	6,9	13,8
Druhotné tloustnutí na lokalitě "AHL"	půda	6,8	6,4	7,3	8,8	8,0	9,9	11,6	11,2	12,2	9,7	8,9	10,5
	vzduch	8,8	6,1	12,2	8,3	5,8	11,2	13,2	10,1	16,5	9,0	6,0	12,3
	koruna	8,5	6,1	11,8	8,3	6,0	11,1	12,9	10,0	16,2	8,8	5,9	12,3
Druhotné tloustnutí na lokalitě "skupinky"	půda	5,2	4,8	5,7	9,0	8,4	9,5	8,8	8,4	9,4	9,7	9,4	10,2
	vzduch	4,8	1,5	8,5	7,1	4,7	10,1	9,3	6,2	13,3	9,9	7,2	13,5
	koruna	4,7	1,4	8,8	6,9	4,4	9,7	9,2	5,7	14,5	9,7	6,9	13,8
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "AHL"	půda	8,8	8,0	9,9									
	vzduch	8,3	5,8	11,2									
	koruna	8,3	6,0	11,1									
Výskyt prvních dospělých buněk na lokalitě "skupinky"	půda	9,0	8,4	9,5									
	vzduch	7,1	4,7	10,1									
	koruna	6,9	4,4	9,7									

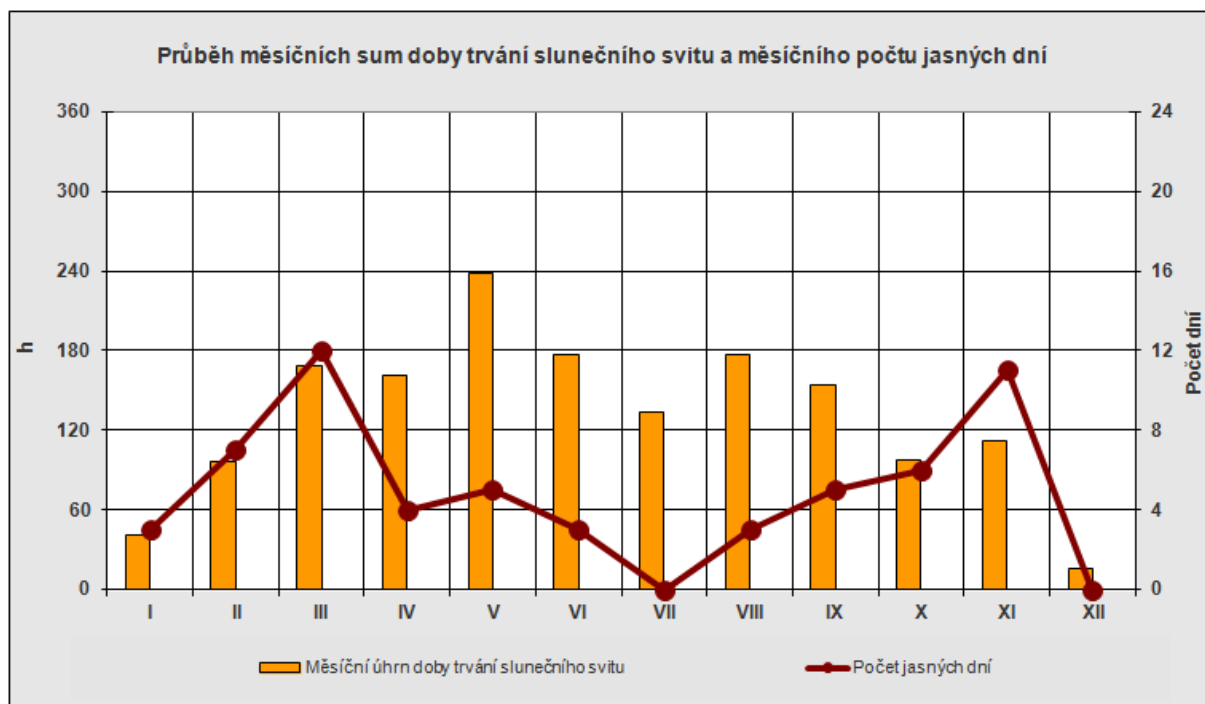
Příloha 29: Průměrné teploty vzduchu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2011 (zdroj: ČHMÚ).



Příloha 30: Průměrné teploty vzduchu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2012 (zdroj: ČHMÚ).



*Príloha 31: Doba slunečního svitu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2011 (zdroj: ČHMÚ).*



*Príloha 32: Doba slunečního svitu na meteorologické stanici Pec pod Sněžkou v roce 2012 (zdroj: ČHMÚ).*

